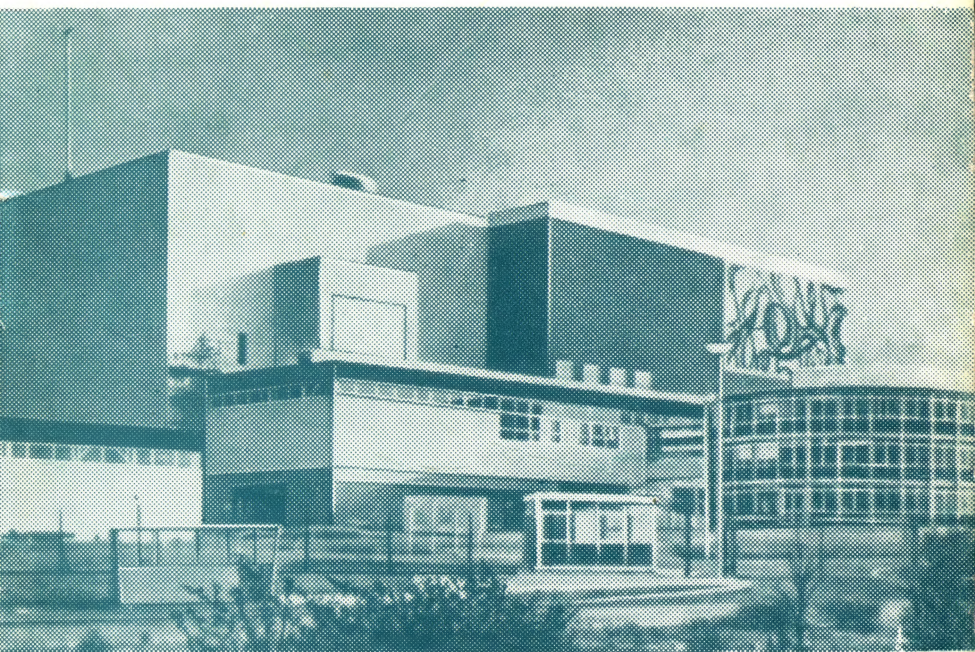


НОВОЕ  
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,  
ТЕХНИКЕ

ЗНАНИЕ



3/1974

СЕРИЯ  
ФИЗИКА

А.М.Петросьянц  
МОЩНЫЕ  
АТОМНЫЕ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ  
ЗА РУБЕЖОМ



**А. М. Петросьянц**

**МОЩНЫЕ  
АТОМНЫЕ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ  
ЗА РУБЕЖОМ**

**(США, ВЕЛИКОБРИТАНИЯ, ФРГ)**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»**

**Москва 1974**

33M21  
П 30

Петросьянц А. М.

П30 Мощные атомные электростанции за рубежом. М., «Знание», 1974.

64 стр. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Физика», 3. Издается ежемесячно с 1947 г.).

Брошюра знакомит читателей с положением дел в атомной энергетике США, Великобритании и ФРГ. Приводится описание некоторых крупных зарубежных атомных электростанций, атомных научно-исследовательских центров, занимающихся разработкой вопросов атомной энергетики. Автор сообщает также сведения о важнейших перспективных направлениях в развитии реакторостроения в этих странах.

Брошюра рассчитана на специалистов физиков и инженеров, а также на широкий круг читателей.

33M21

П  $\frac{30315-049}{073(02)-74}$  60-74

© Издательство «Знание», 1974 г.

## Введение

Электроэнергетика в жизни современного общества, особенно в развитых странах, занимает перво-степенное место. Значение электроэнергетики в промышленных, индустриально развитых странах невозможно переоценить.

Масштабы нынешнего и особенно будущего роста электроэнергетики в связи с увеличением населения, бурного развития всех отраслей промышленности и сельского хозяйства грандиозны.

Потребление органических видов топлива за последние десятилетия возросло в несколько раз по сравнению с прошлыми периодами и имеет резко выраженную тенденцию еще большего роста. Так, если за период с 1900 по 1970 г. по имеющимся подсчетам человечество израсходовало во всем мире около 250 млрд. т условного топлива, то за 30 лет, в период с 1970 по 2000 г., расход всех видов топлива должен вырасти до 450 млрд. т условного топлива. Иначе говоря, если за прошедшие 70 лет в год израсходовалось в среднем по 3,5 млрд. т, то в предстоящем тридцатилетии, по расчетам прогнозистов, будет расходоваться в среднем за год по 15 млрд. т, т. е. почти в 5 раз больше.

Рост потребления энергии и отсюда рост производства электроэнергии обусловлены прежде всего быстрым ростом населения. Население земного шара ныне увеличивается более чем на 1 млн. человек в неделю, или на 65 млн. человек в год. К 2000 г. население, по предсказаниям демографов, по-видимому, увеличится почти вдвое.

Так, принято считать, что в первом году нашей эры на всей Земле насчитывалось 200—275 млн. человек. Через 18 столетий, т. е. к 1800 г. население нашей планеты ис-

числялось в 1000 млн. человек. Но уже примерно через 130 лет, к 1930 г., население Земли составило 2000 млн. человек. К 1960 г., т. е. через 30 лет, оно возросло до 3000 млн. человек.

Демографы считают, что к 1975 г. население земного шара увеличится до 4000 млн. человек. Многие зарубежные демографы (и некоторые советские демографы) предполагают, что численность народонаселения к 2000 г. достигнет 6000—7000 млн. человек.

Такой фактический и прогнозируемый рост населения требует достаточно точного определения запасов ископаемых видов топлива в недрах Земли.

В связи с улучшением методов геологической разведки, усовершенствованием глубинного бурения разведанные запасы угля, нефти и газа быстро увеличиваются. Так, в 1965 г. разведочные запасы топлива по сравнению с 1950 г. увеличились в 4 раза.

Общие геологические запасы ископаемых топлив на Земле — каменного и бурого углей, нефти в свободном состоянии, нефти в сланцевых песчаниках и природного газа — достаточно велики. Советские ученые оценивают прогнозные общегеологические мировые запасы каменного угля в 20—25 млрд. т условного топлива. Теплотворная способность их достигает 7 тыс. ккал/кг. Мировые запасы нефти и газа оцениваются от 500 до 1500 млрд. т.

Однако несмотря на такое в общем благоприятное положение, нельзя предполагать, что имеющиеся в недрах Земли запасы топлива позволят человечеству безмятежно взирать на далекое будущее и расходовать органические виды топлива, потребности в которых быстро растут.

Ближайшим поколениям уже придется сильно задумываться над катастрофически сокращающимися запасами органических видов топлива, особенно нефти, газа. Во весь рост встанет проблема обеспечения всеми видами энергии народное хозяйство и, в частности, приобретающую гигантские масштабы мировую нефтехимию, потребляющую сырую нефть для производства химических продуктов.

Скорость использования органических видов горючего будет возрастать с ростом промышленного и бытового потребления энергии в современном обществе. Еще более

важно то, что здесь в силу вступает суровый закон невозобновимости угля и нефти.

Использование энергии, образующейся при делении ядер урана и плутония, — единственная реальная возможность обеспечить человечество электрической энергией при истощении запасов органических видов топлива.

В процессе деления ядер урана и плутония в атомном реакторе выделяется огромное количество тепловой энергии. Ее использование позволяет создавать крупные энергетические ядерные реакторы, атомные электростанции промышленного типа.

Так, при делении ядер, содержащихся в 1 г урана, выделяется 20 млн. ккал, что соответствует 2300 квт·ч тепловой энергии. В каждом акте деления ядер урана выделяется энергия, равная примерно 200 Мэв. Это более чем в 20 млн. раз превышает энергию, выделяющуюся в любой химической реакции. 1 кг урана может дать столько тепла, сколько получают при сжигании от 2600 до 3000 т каменного угля (в зависимости от теплотворной способности углей).

Теперь уже очевидно, что атомная энергетика имеет определенные преимущества по сравнению с обычной, привычной всем классической электроэнергетикой, использующей в качестве топлива органические виды горючего (уголь, торф, нефть, газ) или «белый» уголь — энергию падающей воды (гидроэлектростанции).

Атомные электростанции полностью независимы от источников сырья (урановых рудников) благодаря компактности ядерного горючего, небольшому весу и продолжительности его использования в ядерном реакторе. Перегрузка загруженного топлива, в частности, в водяных реакторах происходит не чаще одного раза в год.

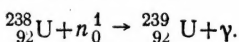
Атомные электростанции, используя в качестве парового котла атомный «котел» — ядерный реактор, очень мало расходуют горючего. В связи с этим полностью отпадает необходимость загружать железнодорожный или морской транспорт перевозками многотоннажных грузов такого топлива, как уголь и нефть. Атомные электростанции являются чистыми источниками энергии, не увеличивающими загрязненность внешней окружающей среды.

Атомные электростанции весьма перспективны в от-

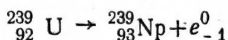
ношении создания и использования мощных энергетических блоков. Энергетические реакторы дают возможность строить очень мощные и экономичные электростанции, позволяют в принципе получать от одного реактора электрическую мощность в 1—1½ и даже 2 млн. квт.

Наиболее эффективного использования урана нельзя добиться на реакторах, работающих на тепловых, медленных нейтронах. Решить этот вопрос можно только при использовании ядерного горючего в реакторах, работающих на быстрых нейтронах. Эти реакторы обладают великолепными возможностями воспроизводства ядерного горючего. Иначе говоря, в реакторах на быстрых нейтронах имеется возможность не только наилучшего использования делящихся изотопов урана или плутония, но и создания нового горючего за счет вовлечения в топливный цикл неделящегося изотопа урана-238, а также тория.

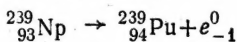
При попадании быстрых нейтронов в ядро урана-238 осуществляется несколько реакций, в результате которых образуется новое делящееся вещество — плутоний-239, искусственно созданный в ядерном реакторе элемент. Первая реакция такая:



Образующийся в ходе этой реакции уран-239, период полураспада которого равен 23 сек, преобразуется в Np (период полураспада нептуния 2,3 суток):



Последний, распадаясь, превращается в плутоний-239:



При осуществлении реакций превращения в ядерном реакторе образуются и другие изотопы плутония: плутоний-240, плутоний-241. Их также можно использовать в реакторах на быстрых нейтронах в качестве ядерного горючего.

В этом смысле ядерный реактор нельзя сравнить с любым, даже самым лучшим паровым котлом, сжигающим топливо, уголь и превращающим его в золу.

Потенциальные возможности атомных энергетических реакторов очень велики. И по мере освоения и развития

атомной энергетики будут открываться все новые возможности для ее использования в самых различных областях.

Атомная энергетика — очень молодая отрасль науки и техники. Она насчитывает всего лишь 20 лет. Первая в мире атомная электростанция была пущена в эксплуатацию в Советском Союзе, в Калужской области в июне 1954 г. Небольшая атомная электростанция электрической мощностью всего лишь 5000 *квт* ознаменовала новую эру в энергетике. Впервые электрическая энергия была получена не путем сжигания угля, нефти, торфа или газа, а путем использования высвобождающейся при делении ядер урана ядерной энергии.

Ни одна отрасль техники так быстро не развивалась, как атомная энергетика. Обычным электростанциям понадобилось почти 100 лет, чтобы пройти такой же путь развития и достичь такого уровня инженерной техники, какого достигла сейчас атомная энергетика в мире.

И не случайно многие ведущие экономисты и техники предсказывают атомной энергетике огромное будущее. Можно, конечно, спорить и не соглашаться с оптимистическими наметками многих зарубежных ученых по планам развития атомной энергетики к 1980 и к 2000 гг. Но нельзя не признавать, что у атомной энергетики блестящее будущее. Пройдет совсем немного времени, 30—50 лет, и атомная энергетика, включая управляемый термоядерный синтез, будет основным источником получения электроэнергии для народного хозяйства стран мира.

На январь 1973 г. установленная электрическая мощность атомных электростанций в мире определяется немногим менее 40 млн. *квт*. Табл. 1 иллюстрирует состояние атомной энергетики в зарубежных странах. Она составлена по данным, опубликованным в печати.

Естественно, что движущие силы в развитии атомной энергетики в разных странах разные, но в общем-то одно стремление объединяет их всех, это необходимость, и в ряде случаев насущная необходимость увеличения производства электрической энергии.

Есть еще одно важное обстоятельство — коммерческая целесообразность. Это желание захватить ведущие позиции в атомной энергетике и промышленности, в атомно-энергетическом машиностроении. Это желание не от-

стать от соседних зарубежных стран и попытаться диктовать свои национальные и узкокоммерческие интересы будущим производителям и потребителям электроэнергии, вырабатываемой атомными электростанциями.

Т а б л и ц а 1

**Мощность действующих АЭС в различных странах мира  
(кроме социалистических) на январь 1973 г.  
и планы развития атомной энергетики к 1975—1980 и 1985 гг.  
по данным зарубежной печати**

Электрическая мощность, Мвт

Страна	Мощность действующих АЭС на январь 1973 г.	Ожидаемая мощность АЭС к концу 1973 г.	Планируемая мощность АЭС		
			1975 г.	1980 г.	1985 г.
Соединенные Штаты Америки	14 955	30 000	60 000	150 000	300 000
Великобритания	6 091	8 290	10 000	16 000	48 000
Франция	2 745	3 000	5 000	12 000	16 900
Япония	1 700	2 855	5 100	20 000	49 000
Канада	2 003	2 515	2 600	7 800	16 000
Федеративная Республика Германии	2 215	2 350	7 000	20 000	31 500
Швейцария	1 006	1 006	2 000	4 400	7 500
Испания	1 253	1 250	1 253	8 000	14 000
Италия	597	597	1 450	5 500	10 000
Швеция	470	1 200	3 200	7 000	17 000
Индия	400	600	1 000	2 000	3 600
Бельгия	11	400	1 300	2 600	4 200
Нидерланды	50	50	500	2 000	5 200
Австрия	—	—	600	1 000	2 000
Австралия	—	—	—	1 800	5 300
Аргентина	—	340	340	900	1 700
Бразилия	—	—	—	1 000	3 500
Греция	—	—	—	1 200	3 300
Дания	—	—	500	1 500	3 000
Пакистан	125	125	125	125	125
Мексика	—	—	—	2 100	5 000
Новая Зеландия	—	—	—	600	1 600
Турция	—	—	—	400	1 100
Филиппины	—	—	—	800	2 500
Финляндия	—	—	400	2 000	2 900
	33 622	54 600	102 368	270 725	555 475

## Атомная энергетика США

Обзор состояния и будущего развития атомной энергетики в зарубежных странах с тем, чтобы определить роль и место атомной энергетики, по-видимому, лучше всего будет начать с США, ибо там раньше и лучше всех в капиталистическом мире поняли значение и возможности атомной энергетики.

Сразу же после пуска первой в мире АЭС в Советском Союзе правительство США (и раньше поощрявшее работы в этом направлении) начало широкое финансирование работ по сооружению АЭС.

Ныне в прогнозах экономического развития США ядерной энергетике отводится одно из первых мест. К 1980 г. в США намечают достигнуть 130 000—150 000 Мвт установленных мощностей по АЭС. Это будет означать, что на долю АЭС в 1980 г. придется до 20% от общей установленной мощности всех электростанций США, а к 2000 г. эту долю АЭС намечено повысить до 50% (табл. 2).

Еще несколько лет назад США отставали в росте и количестве вводимых атомных энергетических мощностей от Великобритании, а ныне они почти вдвое превосходят ее по введенным установленным мощностям.

США явно спешат захватить все ключевые позиции по атомной энергетике, сооружая широким фронтом АЭС у себя в стране и в других странах.

Основными типами реакторов, на которых основано развитие АЭС в США, являются водо-водяные под давлением (PWR) и с кипящей водой (BWR). Эти типы

Таблица 2

## Рост производства электроэнергии, в том числе и ядерной, в США

Наименование	1950 г.	1970 г.	1980 г.	2000 г.
Общая установленная мощность всех электростанций, млн. кВт	83	360	690	2 200
Общее потребление электроэнергии, млрд. кВт-ч в год	390	1640	3300	10 000
Установленная мощность АЭС, млн. кВт	0	5	150	1 100
Доля АЭС в общем балансе установленных мощностей, %	0	1	20	50

реакторов оказались наиболее освоенными к моменту их выхода на широкий рынок. Они достаточно компактны, легко поддаются регулированию, сравнительно просты в эксплуатации.

Приобретенный США опыт при сооружении судовых энергетических реакторов помог машиностроителям сравнительно быстро освоить эти типы реакторов. Кроме того, наличие больших возможностей по обогащению ядерного горючего на диффузионных заводах США позволило американским ученым и инженерам использовать слабообогащенный уран для водо-водяных реакторов.

Особенно большое число заказов получили ведущие американские фирмы на сооружение АЭС и поставку оборудования для них после 1964 г., когда АЭС зарекомендовали себя как хороший производитель электроэнергии и капиталовложения были либо на уровне или немного выше обычных электростанций.

Основными реакторостроительными фирмами США являются «Вестингауз электрик», «Дженерал электрик», «Бабкок энд Уилкокс», «Комбасчн Энджиниринг», «Галф дженерал атомик». Перечисленные пять фирм получили заказы на сооружение атомных электростанций, начиная с 1966 г. и по 1971 г. на общую установленную мощность почти в 108 000 Мвт.

Ведущие из этих реакторостроительных фирм — «Вестингауз электрик», доля заказов которой на АЭС равна 40%, и «Дженерал электрик» — 35%. Объем зака-

зов этих двух фирм, естественно, колеблется и зависит от чисто конъюнктурных явлений, но колебания в общем невелики.

Американские промышленные фирмы очень гибки и чутки к изменениям на рынке к запросам потребителей. Учитывая, что необходимость в электроэнергии все возрастает и появился новый весьма перспективный источник электроэнергии в виде атомной энергетики — крупнейшие энергетические фирмы сразу начали готовиться и расширять свои технические и производственные возможности для максимального удовлетворения запросов заказчиков-потребителей. Так, фирма «Вестингауз электрик», начав свое участие в области атомной энергии по контракту с КАЭ США в Манхаттанском проекте (создание атомной бомбы в 1941—1945 гг.), впоследствии приступила тоже по контракту с КАЭ США к строительству промышленных АЭС.

В результате фирма «Вестингауз электрик» на своих промышленных предприятиях производит все основное оборудование для АЭС, в том числе реакторы со всеми внутренними узлами, парогенераторы, компенсаторы объема, регуляторы давления для компенсаторов объема, главные циркуляционные и вспомогательные насосы с электродвигателями, все виды арматуры и задвижек, регулирующие стержени, приборы всех назначений, в том числе и для активной зоны, и саму активную зону (тепловыделяющие элементы).

«Вестингауз электрик» ведет работы по изготовлению ядерного топлива с получением двуокси урана, по транспортировке ядерного горючего, разведке урановых месторождений и т. д.

Фирма «Вестингауз электрик» свои основные работы сосредоточила на изготовлении реакторов с водой под давлением (в отличие от фирмы «Дженерал электрик», которая изготавливает водяные реакторы «кипящего» типа).

Первая АЭС с реактором водо-водяного типа под давлением (PWR) электрической мощностью 176 Мвт была построена «Вестингауз электрик» в Шиппингпорте в 1957 г. Ныне проектируемые и строящиеся этой фирмой АЭС имеют среднюю электрическую мощность порядка 800—1200 Мвт.

В лабораториях, проектных и конструкторских орга-

низациях «Вестингауз электрик» проводятся научные исследования, проектирование, разработка, изготовление, монтаж и наладка атомных энергетических установок. Фирмой создан специальный ядерный центр, где работают 1800 человек.

В настоящее время финансирование строительства АЭС в США целиком осуществляется электроэнергетическими фирмами. Это указывает на коммерческую целесообразность строительства АЭС. Частные капиталовложения в сооружение АЭС в 1970 г. составили около 4 млрд. долларов.

Из 147 АЭС, находившихся в конце 1972 г. в разных стадиях строительства и в эксплуатации, наибольшее число приходится на энергетические реакторы водо-водяного типа, а именно 140, т. е. 95%. Из них 90 реакторов водо-водяного типа под давлением 64% и кипящего типа под давлением 50, т. е. 36%.

По приглашению Комиссии атомной энергии (КАЭ) США я дважды побывал (в ноябре 1963 г. и в апреле 1971 г.) на крупной промышленной АЭС в районе Индиан-Пойнт, в 38 км севернее Нью-Йорка на реке Гудзон. АЭС Индиан-Пойнт принадлежит крупной электрической фирме «Эдиссон консолидейтед». Эту АЭС начали строить в декабре 1956 г. (фирма «Вестингауз электрик»). Через 5,5 лет в августе 1962 г. реактор достиг критичности, а в январе 1963 г. был выведен на полную электрическую мощность (табл. 3).

Советскую делегацию в 1963 г. сопровождал член КАЭ США доктор Тейп. За короткий визит нас познакомили с объектами АЭС и рассказали об особенностях этой первой промышленной АЭС. На примере Индиан-Пойнтской АЭС можно убедиться, как быстро шагает атомная энергетика и какие существенные изменения в представлениях атомных энергетиков происходят за сравнительно короткий срок.

Первый блок АЭС Индиан-Пойнт был построен на электрическую мощность 275, а второй — на 906 Мвт. На первом блоке в качестве ядерного горючего использовалась двуокись урана и двуокись тория с очень высоким обогащением — 93%, а на втором блоке — только двуокись урана со слабообогащенным ураном, немногим более 2,5%.

Со вторым блоком АЭС Индиан-Пойнт мне пришлось

**Характеристика технических показателей реакторов  
АЭС Индиан-Пойнт**

Наименование	Едини- ца изме- рения	1-й блок АЭС	2-й блок АЭС
Тепловая мощность	<i>Мвт</i>	795	2 758
Электрическая мощность	<i>Мвт</i>	275	906
Ядерное горючее	Вид	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>
Обогащение	%	93	2,2 до 2,7
Загрузка	т	1,3 UO <sub>2</sub> — 17 GhO <sub>2</sub>	86 UO <sub>2</sub>
Теплоноситель:			
а) вид		H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
б) давление	<i>кг/см<sup>2</sup></i>	106	157
в) температура на входе в реактор	°C	253	283
г) температура на выходе из реактора	°C	270	313
Пар:			
а) давление	<i>кг/см<sup>2</sup></i>	26	51
б) температура	°C	538 <sup>1</sup>	260
Выгорание	<i>Мвт. сут</i>	18 000	30 000
	<i>т</i>		
Стоимость 1 кВт установлен- ной мощности	доллары	355	124
Стоимость 1 кВт-ч	центы	1,32	0,4

<sup>1</sup> С огневым перегревателем пара мощностью 210 Мвт.

познакомиться в апреле 1971 г., когда на станции заканчивались монтажные и пуско-наладочные работы. На втором блоке были приняты новые прогрессивные решения, в том числе отказ от огневого перегрева пара, который, кстати, уже нигде в США и других странах не применяется.

При сооружении блоков № 2 и № 3 АЭС Индиан-Пойнт большое внимание было уделено управлению и контролю работы реактора и его основных агрегатов, а также безопасности. Управление реакторами автоматизировано. Информация со всех главных пунктов реактора собирается и обрабатывается с помощью электронно-вычислительных машин. В будущем предполагается обеспечить блоки АЭС управляющей электронно-вычислительной машиной, не ограничиваясь только собирающей и обрабатывающей информацией.

Мне пришлось дважды побывать на одной из крупнейших в США атомных электростанций с реакторами кипящего типа. В 1963 г. я познакомился с работой первого блока АЭС «Дрезден» в районе Моррис (штат Иллинойс). Мощность этой АЭС тогда была 220 *Мвт* (эл.), по нынешним временам сравнительно небольшая. Но следует иметь в виду, что начало строительства этой АЭС было в марте 1957 г. Критичность была достигнута в октябре 1959 г., а на полную проектную мощность АЭС вышла в июне 1960 г.

Следовательно, в период, когда мы прибыли впервые на АЭС, она уже проработала более 3 лет. По результатам работы, представленным нам тогда, было видно, что АЭС работала с хорошим коэффициентом использования мощности и с очень хорошим коэффициентом по использованию времени.

Во второй наш приезд на АЭС «Дрезден» в 1971 г. мы увидели второй блок этой АЭС в работе и уже на значительно большую мощность 800 *Мвт* (эл.), почти в 3,7 раза превосходящую по мощности первый блок. Строился третий блок.

Второй блок достиг критичности в 1969 г. и уже работал, но в связи с запрещением сброса в реку воды, на станции в спешном порядке строили огромный водоем для сброса туда горячей воды с тем, чтобы по мере ее охлаждения перебрасывать обратно в реку.

В табл. 4 представлены технические характеристики всех трех блоков АЭС «Дрезден».

На конференции Атомного промышленного форума в ноябре 1971 г. было признано, что удельные капитальные затраты на АЭС с двумя реакторами мощностью по 1100 *Мвт* (эл.) могут составить более 500 *долларов/квт* в 1980 г. и порядка 1150 *долларов/квт* в 1990 г. при затратах на ТЭС<sup>1</sup> той же мощности соответственно 450 и 950 *долларов/квт*.

И все же, несмотря на прогнозируемую разницу в капитальных затратах между АЭС и ТЭС в пользу последних, ядерная энергетика остается конкурентоспособной на значительной части территории США. Это объясняется более низкой и относительно стабильной стоимостью

---

<sup>1</sup> Тепловая электростанция (ТЭС).

Характеристика реакторов АЭС «Дрезден»  
(штат Иллинойс)

Наименование	Размер- ность	Дрезден-1	Дрезден-2	Дрезден-3
Тепловая мощ- ность	Мвт	700	2527	2527
Электрическая мощность	Мвт	220	809	809
Топливо	вид	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>
Обогащение топ- лива	%	1,5 и 1,83	2,0 и 2,36	2,1
Загрузка топлива	т	51,5	139	139
Поток нейтронов тепловых	нейтрон см <sup>2</sup> /сек	3 · 10 <sup>13</sup>	5 · 10 <sup>13</sup>	5 · 10 <sup>13</sup>
Поток быстрых Теплоноситель:	»	1 · 10 <sup>14</sup>	—	—
а) давление	вид кг/см <sup>2</sup>	Вода (H <sub>2</sub> O) 70,3	Вода (H <sub>2</sub> O) 70,0	Вода (H <sub>2</sub> O) 70,0
б) температура на входе в реактор	°C	265	171,0	171,0
в) температура на выходе из реак- тора	°C	285	302,0	302,0
Давление пара	кг/см <sup>2</sup>	68,5	66,5	66,5
Температура пара	°C	283	280,0	280,0
Выгорание	Мвт. сут кг	6,7—12	19,0	19,0
Стоимость 1 кВт установл. мощ- ности	доллары	280,0	118,0	—
Стоимость 1 кВт-ч	центы	0,975	0,433	—

ядерного горючего при одновременном постоянном росте цен на органическое топливо.

В настоящее время стоимость топливного цикла для водо-водяных реакторов в США составляет 0,17 цента/кВт-ч, АЭС с такими реакторами могут конкурировать с ТЭС, использующими органическое топливо по средним ценам, действующим в США.

Приведенные данные прогноза исходят также из того, что в 80-х годах в США будут разработаны и начнут внедряться в атомную энергетику быстрые реакторы-размножители. Прототипы таких реакторов уже действуют. Мне пришлось побывать и ознакомиться с их работой и ведущимися экспериментами.

В 1963 г. и затем в 1971 г. я дважды побывал на АЭС имени Энрико Ферми. Здесь имеется реактор-размножитель на быстрых нейтронах.

Установленная электрическая мощность (брутто) АЭС 150 000 кВт. Теплоносителем служит натрий, топливом — уран, обогащенный на 26,0% ураном-235, в зоне воспроизводства используется обедненный уран (содержание урана-235 0,35%).

При посещении этой АЭС в 1963 г. наша делегация увидела, что фирма по производству электроэнергии «Детройт Эдиссон и К°» уже закончила строительные и пуско-наладочные работы. Однако АЭС работала на очень малой электрической мощности (несколько десятков киловатт). Так было в 1963 г.

Вскоре реактор был поставлен на ремонт, который продолжался вплоть до середины 1970 г. В октябре 1970 г. реактор начал работать и достиг тепловой мощности 200 Мвт или электрической 65 Мвт.

В апреле 1971 г. АЭС «Энрико Ферми» также работала на мощности 65 Мвт, причем при существующих твэлах эта энергетическая мощность, по заявлению эксплуатационников, максимально возможная. Работа АЭС на пониженных мощностях одобрена КАЭ США, без со-

Таблица 5

Некоторые технические данные реактора АЭС  
имени Энрико Ферми

Характеристика	Размерность	
Тепловая мощность	Мвт	200
Электрическая мощность	Мвт	65
Ядерное горючее	вид	U—Mo
Обогащение	%	25,6
Загрузка топлива	т	1,94
Средний поток быстрых нейтронов	нейтрон	$3 \cdot 10^{15}$
Теплоноситель:	см <sup>2</sup> /сек	
а) давление	вид	Na
б) температура на входе в реактор	кг/см <sup>2</sup>	8,4
в) температура на выходе из реактора	°C	288
Пар:	°C	427
а) давление	кг/см <sup>2</sup>	42,2
б) температура	°C	407

гласия которой не может быть разрешен вывод АЭС на проектную мощность.

Характеристика реактора АЭС имени Энрико Ферми дана в табл. 5.

В национальных центрах США ведутся работы по реакторам-размножителям на быстрых нейтронах. Так, в Айдахо-Фоллс в ноябре 1963 г. достиг критичности экспериментальный исследовательский реактор на быстрых нейтронах EBR-2 электрической мощностью 20 Мвт. Этот реактор является одним из результатов работы Аргонской национальной лаборатории, которая эксплуатирует его, являясь его владельцем.

Я упоминаю об этом реакторе потому, что был свидетелем его пуска в Айдахо-Фоллсе. В 1971 г. мне вновь пришлось побывать в Айдахо и слушать сообщение американских ученых о результатах работы реактора EBR-2. Характеристика EBR-2 приводится в табл. 6.

Таблица 6

**Экспериментальная АЭС в Айдахо-Фоллс EBR-2**

Наименование	Размерность	Величины
Мощность тепловая	Мвт	62,5
Мощность электрическая	Мвт	20,0
Ядерное горючее	вид	Уран дву- окись
Обогащение	%	49
Загрузка топлива	т	0,366 по $^{235}\text{U}$
Средний поток быстрых нейтронов	нейтрон	$8 \cdot 10^{14}$
Теплоноситель:	$\text{см}^2/\text{сек}$	
а) давление	вид	Na
б) температура на входе в реактор	$\text{кг}/\text{см}^2$	3,3
в) температура на выходе из реактора	$^{\circ}\text{C}$	371
Пар:	$^{\circ}\text{C}$	473
а) давление	$\text{кг}/\text{см}^2$	88
б) температура	$^{\circ}\text{C}$	455

На реакторе EBR-2 как на одном из основных исследовательских реакторов на быстрых нейтронах осуществлялось облучение топливных элементов различных композиций и конструкционных материалов. Здесь проводились испытания опытных твэлов и с двуокисным урановым топливом, и с карбидным, и с металлическим.

По планам КАЭ США, представленным в свое время президенту, развитие ядерной энергетики в США будет идти по своему первоначальному пути строительства реакторов на тепловых нейтронах главным образом водо-водяного и кипящего типов. Поставщиками этих энергетических реакторов будут несколько фирм, но главными из них — это «Вестингауз электрик» (реакторы под давлением) и «Дженерал электрик» (кипящие).

Однако по мере совершенствования реакторов на быстрых нейтронах (реакторов-размножителей) они будут встраиваться в общую систему строительства АЭС. По наметкам КАЭ США, это будет происходить в середине 80-х годов, поскольку реакторы на быстрых нейтронах должны достичь к этому времени достаточно высокого коэффициента воспроизводства ядерного топлива и надежности в работе. Они будут иметь значительно более низкую составляющую стоимости вырабатываемой энергии, чем современные АЭС, и благодаря этому позволят использовать более дорогие запасы ядерного сырья, оставаясь в то же время конкурентоспособным с электростанциями на органическом топливе.

Разработка и промышленное внедрение быстрых реакторов-размножителей должны занять довольно длительный период времени, в течение которого из-за неэффективного расходования ядерного топлива современными водо-водяными реакторами может возникнуть нехватка дешевых запасов урана. Поэтому КАЭ США предполагает, что до внедрения реакторов-размножителей будут разработаны и внедрены в промышленную эксплуатацию усовершенствованные типы реакторов-конверторов с более эффективным использованием ядерного топлива, чем реакторы АЭС, сооружаемые и планируемые к строительству в ближайшие годы. Согласно оценкам КАЭ, в 1990 г. доля водо-водяных реакторов в общей мощности АЭС США составит 45%; усовершенствованных реакторов-конверторов — 30% и быстрых реакторов-размножителей — 25%.

Разработкой реактора-размножителя на быстрых нейтронах усиленно занимается американская фирма «Галф дженерал атомик».

В 1971 г. по приглашению этой фирмы мне пришлось с группой советских специалистов побывать на установках в районе г. Сан-Диего. Нужно сказать, что фирма

проводит весь комплекс испытаний с широким размахом. Оборудование испытывается на полную нагрузку с превышением рабочих давлений, на которых оно будет работать на АЭС.

Фирма «Галф дженерал атомик» начала в 1968 г. работы по проектированию и созданию оборудования для реакторов большой мощности на тепловых нейтронах с гелиевым теплоносителем. Еще несколько лет назад «Галф дженерал атомик» приступила к строительству в Форт-Сейнт-Врейне (штат Колорадо) АЭС с реактором *HTGR* электрической мощностью 300 *Мвт*. Это высоко-температурный реактор с гелиевым теплоносителем и графитовым замедлителем.

Нам пришлось побывать на этой АЭС в апреле 1971 г. Из г. Денвера до этой АЭС всего 40 *мин* езды на автомашине. Мы застали АЭС «Форт-Сент-Врейн» в разгаре монтажных работ. Физический пуск реактора был тогда намечен на конец 1971 г. или начало 1972 г. Энергетический пуск — на конец 1972 г. или начало 1973 г. По сообщениям печати, загрузка ядерным топливом началась в конце сентября 1973 г. В начале 1974 г. он должен быть выведен на энергетическую мощность.

АЭС имеет одну турбину с высокими параметрами пара с температурой пара на турбину 540°C, к.п.д. — порядка 39,5%. Мощность АЭС запланирована на 300 *Мвт*, но ее намереваются довести до 330 *Мвт* (эл.).

До этого «Галф Дженерал атомик» в 1962 г. приступила к строительству в Пич-Боттоме (штат Пенсильвания) атомной электростанции мощностью 45 *Мвт*. Реактор этой АЭС с графитовым замедлителем, газовым теплоносителем (гелий) и с уран-ториевым топливным циклом. В 1967 г. эта АЭС достигла запланированной электрической мощности.

Фирма «Галф дженерал атомик» продолжает вести дальнейшую разработку газо-графитового высокотемпературного реактора типа *HTGR*, но уже электрической мощностью 1100 *Мвт*. В штаб-квартире фирмы «Галф дженерал атомик» нам подробно рассказали о технической характеристике этой АЭС с реактором *HTGR*. Фирма считает, что этот тип отличается высокой эффективностью топлива и его низкой стоимостью.

Возможность нагрева газового теплоносителя — гелия до 700—750°C позволяет достигать высоких парамет-

ров пара ( $540^{\circ}\text{C}$  на турбину) и тем самым получить высокий к.п.д. всей установки. Корпус АЭС будет построен из напряженного железобетона. (Строительство опытного корпуса нам показали здесь же, в Сан-Диего.)

В апреле 1972 г. по приглашению фирмы «Норт америкэн рокуэлл» советская делегация впервые получила доступ для ознакомления с работами «Инженерного центра» по исследованию жидких металлов, принадлежащего фирме «Атомикс интернейшнл» (отделение фирмы «Норт америкэн рокуэлл»).

Этот инженерный центр расположен в г. Санта-Сюзанна, штат Калифорния. Центр располагает комплексом стендов (12), предназначенных для полномасштабных испытаний оборудования, отдельных узлов, а также контрольно-измерительной аппаратуры для реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.

Одной из главных задач Инженерного центра испытание оборудования и даже отдельных узлов для натриевых контуров, которые не в состоянии испытывать отдельные фирмы или компании, работающие по заказам КАЭ.

В Центре имеются две крупные действующие установки, в том числе одна мощностью  $12\text{ Мвт}$  при выходных параметрах пара: температура  $565^{\circ}\text{C}$  и давление  $155\text{ атм.}$  Как нам рассказали, на этой установке можно испытывать усовершенствованные прототипные парогенераторы до  $35\text{ Мвт.}$

Ознакомление с Инженерным центром показало, что промышленные фирмы и, в частности, «Норт америкэн рокуэлл», взявшись за изготовление и поставку оборудования для реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем (натрием), обеспечили себя такой опытной базой, которая в состоянии квалифицированно решать многие задачи. Здесь можно получать все необходимые рекомендации после проведения всесторонних испытаний оборудования, предлагаемого к поставке для АЭС.

\* \*

✱

Интересный вид реактора на расплавленных солях разрабатывается в Ок-Риджской национальной лаборатории (штат Теннесси). Разработка таких реакторов на-

чалась в Ок-Риджской национальной лаборатории уже давно. Первой была попытка разработать реактор на расплавленных солях для авиационного двигателя.

В 1961 г. началось строительство экспериментального реактора на расплавленных солях (*MSRE*) мощностью 7,3 Мвт (тепл.). В середине 1965 г. реактор достиг критичности, а в следующем году началась работа на мощности. *MSRE* действовал до остановки в декабре 1969 г. после проведения всех намеченных работ.

В связи с успешной эксплуатацией реактора *MSRE* в Ок-Ридже особое внимание уделили дополнительным разработкам, связанным с созданием реакторов-размножителей с высокими характеристиками.

В качестве топлива для *MSRE* используется смесь фтористых соединений бериллия, лития-7, тория и урана.

По расчетам Ок-Риджской национальной лаборатории, стоимость электроэнергии, вырабатываемой гипотетическим реактором большой мощности такой системы должна быть достаточно низкой. Хотя коэффициент воспроизводства в реактор *MSRE* меньше, чем в реакторах на быстрых нейтронах с таким спектром, однако этот недостаток компенсируется небольшой потребностью в топливе. Применение реактора-размножителя на расплавленных солях в атомной энергетике, как считают в Ок-Ридже, по-видимому, позволит сократить потребности в урановой руде и тем самым не допустить повышения стоимости электроэнергии.

В апреле 1971 г. в Ок-Риджской национальной лаборатории директор профессор Вейнберг сделал доклад о перспективности этого реактора. Он подробно остановился на всех аспектах работы и результатах, полученных на реакторе *MSRE*, и указал на достоинства этого реактора, пока, правда, не получившего широкого признания. Нам были показаны основные узлы реактора и способы химической переработки выгоревшего ядерного горючего.

Профессор Вейнберг отметил следующие главные преимущества реакторов типа *MSRE*:

активная зона представлена в жидком виде и потому переработка ее может проходить прямым путем:

соли фторидов нейтральны и потому они не доставляют неприятностей, связанных с коррозионными явлениями;

низкое давление и высокая температура в активной зоне;

возможность получения пара для турбоагрегатов высоких параметров (по давлению и температуре).

\*   \*  
\*

В США в течение ряда лет, особенно в начале 60-х годов, велись довольно широким фронтом работы по созданию усовершенствованных реакторов-конверторов. При этом ставилась цель максимально возможной наработки плутония для обеспечения будущих потребностей реакторов-размножителей на быстрых нейтронах. Предполагалось, что путь к большой атомной энергетике лежит через реакторы на медленных нейтронах, затем реакторы-конверторы и, наконец, реакторы на быстрых нейтронах. Вот почему в США при широкой поддержке КАЭ велись работы, охватывающие почти десять типов таких реакторов-конверторов.

Некоторые из них считались очень перспективными, например, реактор со сдвигом спектра и реактор с органическим теплоносителем. Однако в 1964—1968 гг. в связи с возникшими техническими трудностями и быстрым распространением водо-водяных реакторов КАЭ вынуждена была пересмотреть свои первоначальные оценки перспективности большинства реакторов-конверторов. В результате этого в настоящее время работы продолжают только по реактору-конвертору одного-двух типов.

Я хорошо помню, как бывший председатель КАЭ США профессор Глен Сиборг рекомендовал нам обратить внимание на реактор со сдвигом спектра, считая его весьма интересным и удивлялся, почему мы в Советском Союзе не так восторженно относимся к нему. Однако как мы теперь видим, интерес к этому реактору спал и КАЭ США также охладела к нему.

\*   \*  
\*

Атомная энергетика США и промышленное освоение АЭС, как видно из изложенного, перешла полностью в руки фирм-консорциумов. Был создан и ныне действует

ряд фирм, специализирующихся на изготовлении и поставках оборудования для реакторов определенных типов. Крупные фирмы поделили сферы влияния. Однако трудно сказать, долго ли продержится такое разграничение сфер влияния, и не наступит ли время, когда один мощный концерн все захватит в свои руки. Возможно, так оно и будет, а возможно, в какой-то степени так и есть уже сегодня. Важно другое. Фирмы ясно почувствовали, что атомная энергетика весьма выгодный бизнес, на котором можно хорошо заработать и вдобавок получить политический капитал, диктуя свою волю странам, которые не в состоянии будут противостоять американскому капиталу.

Быстро развивающаяся атомная энергетика США требует много ядерного горючего. Поэтому вопрос разведки и добычи урана, вопрос первостепенной важности. Начавшийся в 1964 г. бум по заключению большого числа контрактов на строительство АЭС, вызвал, в свою очередь, резкое увеличение контрактов на поставку урана. Так, в этот период были подписаны контракты на поставку энергетическим фирмам 72 000 т  $U_3O_8$  до 1982 г.

Возникла необходимость проведения широких геологоразведочных работ и, следовательно, резко вырос объем разведочного бурения.

Исходя из планируемого роста мощностей КАЭ США определяет потребности АЭС в уране (табл. 7).

Таблица 7

Потребности в уране в зависимости от роста мощностей АЭС

Год	Общая мощность АЭС в Мвт (эл.)	Потребность в уране в коротких тоннах	
		годовая	суммарная
1971		6 900	6 900
1972		10 200	17 100
1973		14 000	31 100
1974		16 700	47 800
1975	59 000	18 400	66 200
1976		21 100	87 300
1977		24 400	111 600
1978		28 600	140 300
1979		31 700	172 000
1980	150 000	34 200	206 200

Указанные в табл. 7 количества урана учитывают загрузку топливом вновь построенные и вводимые в эксплуатацию АЭС и замену выгоревшего топлива на уже эксплуатируемых АЭС.

По состоянию на 1 января 1971 г. запасы урана в США оцениваются следующим образом (табл. 8).

Таблица 8

Запасы урана в США (в тыс. т)

Наименование	Достоверные запасы	Вероятные дополнительные запасы	Всего
Обычные запасы	300	680	980
Побочный продукт переработки медной руды	20	—	20
Побочный продукт фосфатного производства	70	—	70
Подлежащие реализации запасы КАЭ	50	—	50
Итого	440	680	1120

Примечание. По цене не выше 22 долларов/кг.

По данным на 1968 г., добыча урана в США осуществлялась на 368 шахтах, и она полностью обеспечивает потребности США, в том числе и атомной энергетики. Производство шестифтористого урана также находится в руках частных фирм. До 1958 г. производство  $UF_6$  находилось в ведении государства. Обогащение урана изотопом  $^{235}U$  производится на государственных предприятиях: газодиффузионных заводах в Ок-ридже (штат Теннесси), Падьюке (штат Кентукки) и Портсмуте (штат Огайо), построенных во время второй мировой войны и в первые послевоенные годы. Общие капиталовложения во все три завода составили более 2,3 млрд. долларов.

КАЭ США в оценках потребностей в обогащенном уране исходит из следующих положений:

американская ядерная энергетика будет развиваться в соответствии с прогнозом, при котором установленная мощность АЭС к 1980 г. составит 150 000 Мвт (эл.) и к 1985 г. — порядка 300 000 Мвт (эл.);

содержание урана-235 в хвостах газодиффузионного процесса составляет 0,25%;

использование плутония в качестве реакторного топлива начинается в 1975—1976 гг. и благодаря этому потребность в обогащении урана снизится примерно на 5% в период 1975—1980 гг. и на 10% в период 1981—1985 гг.;

промышленное внедрение высокотемпературных газовых реакторов произойдет в конце 70-х — начале 80-х годов;

промышленное внедрение быстрых реакторов-размножителей как вполне конкурентоспособных производителей энергии произойдет в середине или в конце 80-х годов.

Американские экономисты считают, что имеющиеся в США газодиффузионные заводы смогут обеспечить внутренние и зарубежные потребности в обогащении урана до 1978 г., после чего потребуются дополнительные обогащательные мощности. В связи с этим КАЭ США осуществляет программу увеличения мощности своих газодиффузионных заводов. Усовершенствуются разделительные перегородки, что позволит увеличить мощность заводов на 28%. Производительность диффузионных заводов будет повышена за счет увеличения потребления электроэнергии на 1300 Мвт (эл.).

\*      \*

\*

Изготовлением топлива для активных зон реакторов занимаются ведущие американские реакторостроительные фирмы: «Вестингауз электрик», «Дженерал электрик», «Бабкок энд Уилкокс», «Комбасчн энд инжиниринг», а также фирмы «Юнайтед ньюклеар», «Джерси ньюклеар», «Атлантик Ричфилд», «Галф дженерал атомик» и некоторые другие.

Совсем недавно фирма «Вестингауз электрик» ввела в эксплуатацию новый завод по производству ядерного топлива в Колумбии, штат Южная Каролина. Это крупнейшее частное предприятие в капиталистическом мире по производству ядерного топлива.

Переработка облученного топлива из энергетических реакторов до 1966 г. производилась на заводах КАЭ, а

после 1966 г. в США начали строиться заводы и частными фирмами. Так, в 1966 г. был пущен в эксплуатацию радиохимический завод для переработки облученного топлива, в Уэст-Вэлли (штат Нью-Йорк), построенный фирмой «Ньюклеар фьюэл». Производительность этого завода около 300 т в год.

Фирма «Дженерал электрик», получив в 1967 г. разрешение на строительство радиохимического завода производительностью 1 т в сутки (более 300 т в год), приступила в 1968 г. к его сооружению. Пуск завода состоялся в 1972 г.

В первой половине 1971 г. по приглашению фирмы «Дженерал электрик» мы посетили этот завод, расположенный у г. Морриса (штат Иллинойс), в 5—10 км от крупной промышленной АЭС «Дрезден».

Радиохимический завод мы внимательно осмотрели и прошли по всем его переделам (завод сравнительно небольшой и расположен в одном корпусе). Монтажные работы были в полном разгаре. В приборной части дистанционного управления зонами с высокой активностью проводились монтажные и наладочные работы.

Другая фирма «Эллайд Галф ньюклеар сервисиз» начала строительство аналогичного завода по переработке облученного топлива, но уже повышенной производительности (5 т в сутки), в районе Беркуэлла (штат Южная Каролина). Ввод этого завода был запланирован на 1973 г.

Фирма «Атлантик Ричфилд» также приступила к сооружению радиохимического завода на ту же производительность — 5 т в сутки в районе Лидс (штат Южная Каролина).

Радиохимические заводы, строящиеся частными фирмами, должны обеспечить возможность переработки облученного топлива порядка 12—15 т в сутки, что, по-видимому, полностью удовлетворит потребности американской атомной энергетики по крайней мере до 1980—1985 гг.

\*   \*  
\*

В ноябре 1972 г. в Вашингтоне состоялась конференция, организованная Американским атомным промыш-

ленным форумом и Американским ядерным обществом.

Конференция проводилась под девизом «Ядерные решения мировых энергетических проблем». В ней участвовало свыше 30 стран и специализированных международных организаций (Международное атомное агентство — МАГАТЭ, Евратом и ряд других).

Выступления на этой конференции руководящих деятелей промышленности, представителей КАЭ США и государственных деятелей США весьма четко обрисовали положение дел в атомной энергетике. Затрагивались также трудности в производстве электроэнергии и перспективы развития атомной энергетики США.

В работе этой конференции приняла участие советская делегация.

Как руководитель делегации, я выступил с докладом «О положении атомной энергетики и путях ее развития в Советском Союзе».

Перед Вашингтонской конференцией стояла задача обсудить сравнительно узкий круг вопросов, касающихся использования атомной энергии в мирных целях, а именно атомной энергетики.

Атомная энергетика, особенно в Соединенных Штатах Америки, столкнулась с рядом трудностей в связи с начавшейся в мире (особенно в развитых промышленных странах) борьбой с загрязнением окружающей человека среды (вода, воздух, почва, растения и т. д.).

В США загрязнение окружающей среды приняло настолько большие размеры, что американская общественность и государственные органы оказались перед лицом необходимости принять специальные, а иногда и чрезвычайные меры по очистке и сохранению окружающей среды. Это требовалось в интересах соблюдения минимально допустимых санитарных норм.

Рост в США количества электростанций, работающих на низких сортах угля и сернистой нефти, химических заводов, отравляющих атмосферу и прилегающие местности и других вредных производств, настолько отрицательно влияют на внешнюю среду, что мириться с этим оказалось невозможным.

Выступая за чистоту внешней среды, мировая общественность требует так изменить технологию производства, чтобы ликвидировать выброс вредных отходов в реки и озера (убивающих все живое и ведущих к образованию

мертвых водоемов), сернистых и других газов в атмосферу и т. д.

План ввода энергетических мощностей АЭС в 1972 г. в США не выполнен главным образом из-за чинимых преград и препятствий (в ряде случаев вполне обоснованных) к пуску законченных строительством АЭС. Открывая конференцию, ее председатель Гленн Сиборг указывал на необходимость более трезого подхода к вопросам по защите окружающей среды.

Полемизируя с людьми, требующими сохранять красоту окружающей природы, не портить ее видами уродливых промышленных зданий, лесом фабричных труб, мачтами высоковольтных линий электропередач и загрязнением среды, Сиборг говорил: «Можно не портить окружающую среду, не нарушать природного ландшафта, не портить чистоту окружающего нас воздуха, но тогда невозможно будет строить необходимых нам заводов промышленности, производящих предметы потребления, сооружать электростанции, вырабатывающие электрическую энергию».

В самом деле, невозможно отказаться от строительства атомных электростанций. В противном случае для получения электроэнергии придется увеличить расход органических видов топлива. Тогда мы вновь окажемся перед фактом дополнительного загрязнения окружающей среды сернистым газом, золой и пр. Нужно помнить, что рост производства электроэнергии в последние десятилетия удваивается в мире (в разных странах по-разному) в 8 или максимум в 10—12 лет.

Очевидно, отказ от использования атомной энергетики (кое-где такие голоса раздаются) может привести только к резко отрицательным последствиям. Более того, необходимо развивать и расширять работы по атомной энергетике с тем, чтобы в далеком будущем можно было бы полностью отказаться от обычных электростанций, работающих на органических видах топлива.

Президент Американского атомного промышленного форума Винтерсон в своем выступлении назвал цифры роста атомно-энергетических мощностей в США к 1980 г. — 150 000 *Мвт*, к 1985 г. — 300 000 *Мвт* и к 1990 г. — 500 000 *Мвт*. Сейчас в США на разных стадиях строительства находятся около 100 АЭС.

Винтерсон подчеркнул, «что перед атомной промыш-

ленностью стоят очень хорошие перспективы и что сегодня нет такой другой отрасли промышленности, которая была бы такой прогрессивной и многообещающей для нагрузки промышленных предприятий, фирм и концернов, какой является атомная энергетика...»

Атомная энергетика в США нашла свое специфическое место в общей системе электроэнергетики страны. Она завоевала прочное положение, а ее будущее, судя по прогнозам, весьма обнадеживающее.

Американская промышленность и ее реакторостроительные фирмы стремятся развивать свои технические и промышленные возможности не только для удовлетворения внутренних потребностей своей страны, но и для выхода на внешний рынок.

С помощью американского капитала и при техническом участии американских фирм уже построены атомные электростанции в ряде стран. Так, в Италии по американскому проекту сооружена АЭС с реактором водяного типа близ местечка Трино-Верчелезе; в Пакистане — АЭС в Рупаре; в Японии — АЭС в Мияме, и др. АЭС с реакторами кипящего типа построены при участии американских фирм в Италии на реке Гарильяно, в Индии — Тарапурская АЭС, в Швейцарии — Мюлебергская АЭС, в Испании — Санта Мария ла Гаронская АЭС и т. д.

Американская промышленность захватила внешний рынок по оказанию услуг и по продаже обогащенного урана почти всем странам мира, развивающим у себя атомную энергетику.

Одну из главных задач американская промышленность и финансовый капитал видят в том, чтобы стать монополистом во всех областях атомной энергетики. Влияние американской промышленности, его техники и технологии в области атомной энергетики приняло такие формы, что оказывает сильное воздействие даже на такие передовые страны, как Великобритания и Франция.

Атомная энергетика это перспективная отрасль промышленности, в которую американские бизнесмены не боятся вкладывать деньги. Они понимают, что вложенные капиталы за рубежом в строительство АЭС, поставки оборудования для АЭС дадут кроме прибылей, еще возможности и политического влияния.

## Атомная энергетика Великобритании

Английские ученые внесли очень большой вклад в развитие ядерной физики, а позднее и атомной техники. Без этого большого вклада крупнейших ученых Англии, в частности из лаборатории Э. Резерфорда, Дж. Чедвика и других, вряд ли было бы возможно овладение атомной энергией в годы второй мировой войны.

В послевоенные годы, после последнего окончания войны с гитлеровской Германией, в Англии вновь начались работы в этом направлении и, в частности, в области атомной энергетики.

В июле 1948 г. в английском научно-исследовательском центре в Харуэлле был сооружен реактор «Веро» с графитовым замедлителем, тепловой мощностью 6,5 Мвт. Топливом был природный уран, а теплоносителем — воздух при атмосферном давлении. В ноябре 1956 года в Харуэлле достиг критичности корпусной реактор «Дидо» с тяжелой водой в качестве замедлителя и теплоносителя. Топливом служил уран-алюминиевый сплав с высоким обогащением — 80%.

В октябре 1957 г. там же в Харуэлле был пущен в эксплуатацию корпусной реактор «Платон» типа «Дидо», но мощностью в 20 Мвт (тепл.).

В мае 1958 г. в Даунрей (Шотландия) достиг критичности реактор «Dmtr» типа «Платон», но с большим обогащением ядерного топлива — 93%.

Первая опытно-промышленная атомная электростанция началась строительством в 1953 г. в Колдер-Холле; в мае 1956 г. реактор первого блока этой АЭС достиг кри-

тичности, а в октябре 1956 г. он вышел на полную проектную мощность 55 *Мвт* (эл.). На этой АЭС было сооружено 4 блока, все одинаковой мощности. Последний, четвертый блок был выведен на мощность в апреле 1959 г.

Характеристика этой АЭС, несомненно, представляет исторический интерес (табл. 9).

Таблица 9

Характеристика АЭС в Колдер-Холле

Наименование	Размерность	Показатели
Мощность тепловая	<i>Мвт</i>	$4 \times 225$
Мощность электрическая	<i>Мвт</i>	$4 \times 55$
Топливо	вид	уран
Обогащение топливом	%	0,714
Загрузка	<i>т</i>	127
Поток нейтронов тепловых	нейтрон	$1,2 \cdot 10^{13}$
Поток нейтронов быстрых	<i>см<sup>2</sup>.сек</i>	$1,7 \cdot 10^{13}$
Замедлитель	»	графит
Теплоноситель:	вид	CO <sub>2</sub>
а) давление	<i>кг/см<sup>2</sup></i>	7
б) температура на входе в реактор	°C	145
в) температура на выходе из реактора	°C	345
Давление пара	<i>кг/см<sup>2</sup></i>	15,2/3,9
Температура пара	°C	322/182
Среднее выгорание	<i>Мвт. сут</i>	2700
	<i>т</i>	

Весь дальнейший путь английской атомной энергетики характеризуется развитием именно реакторов типа газо-графитовых. Теплоноситель — углекислый газ, замедлитель — графит, ядерное горючее — природный уран.

Только после 1965 г. английские специалисты внесли изменения в вид горючего, а именно в активной зоне реактора появилась двуокись урана (UO<sub>2</sub>). Однако замедлитель и теплоноситель остались неизменными до самого последнего времени. Это, однако, не означает, что в Англии не велись и не ведутся работы по созданию реакторов других типов.

В июне 1965 г. мне пришлось побывать на крупной промышленной АЭС в Сомерсете Хинкли-Пойнт. К строительству этой АЭС из двух блоков реакторов приступили в декабре 1957 г. В мае 1964 г. и в октябре 1964 г. оба блока достигли критичности, а в середине 1965 г. — проектной мощности. Станция работала, судя по графикам и журналам диспетчера, очень надежно и ровно.

Посетили и другие АЭС этого типа, в частности АЭС Хантерстон в Уэст-Килбридже. Эта станция тоже состояла к тому времени из двух блоков. Хантерстонская АЭС принадлежит к тому же поколению, что и Хинкли-Пойнт (топливо — природный уран, графитовый замедлитель и газовый (углекислый газ) теплоноситель).

По прогнозу Центрального энергетического управления (ЦЭУ), к концу 70-х годов производство электроэнергии в Великобритании распределится следующим образом: 25% электроэнергии будут давать электростанции на жидком топливе, 55% — угольные электростанции, 15% — АЭС и 5% — электростанции на природном газе.

ЦЭУ в своем годовом отчете за 1969/70 финансовый год сообщило, что стоимость эксплуатационных расходов на АЭС на 62% ниже стоимости эксплуатационных расходов на электростанциях, работающих на ископаемых видах топлива.

К концу 1971 г. в Великобритании действовали 13 атомных электростанций, из них 5 находились в ведении Управления атомной энергии Великобритании (УАЭ) и 8 — в системе Центрального энергетического управления Великобритании (ЦЭУ). Эти 8 АЭС имеют реакторы одного типа; графитовый замедлитель, газовый ( $\text{CO}_2$ ) теплоноситель, ядерное горючее — природный уран.

На 1 января 1972 г. в Великобритании действовали 14 АЭС общей электрической мощностью 6091 *Мвт*. Это немало. Однако в атомной энергетике Великобритания с каждым годом уступает свои позиции США. Так, в январе 1969 г. общая установленная мощность АЭС в Великобритании достигла 4750 *Мвт*, а в США — 2912 *Мвт*. В январе 1972 г. эти данные составили соответственно 6091 и 10040 *Мвт*, а на январь 1973 г. — 6091 и 14955 *Мвт*.

Таким образом, английская атомная энергетика и промышленность явно не выдержали конкуренции с аме-

риканской и заняли второе место в капиталистическом мире.

В 1965—1969 гг. английские промышленники надеялись занять в области экспорта АЭС, если не первое, то по крайней мере ведущее положение на внешнем рынке, т. е. за пределами Англии. Однако этого не произошло. В дальнейшем, как показывает ход событий в США и в Великобритании, разрыв между мощностями построенных и введенных в эксплуатацию английских и американских АЭС становится еще больше.

Главным административным и организующим центром в Великобритании в области атомной науки и техники, включая и вопросы вооружения и военного судостроения (в части судовых реакторов), является управление атомной энергии (УАЭ) Великобритании. В центральном аппарате УАЭ имеются специальные подразделения, а именно: исследовательское, реакторное, производственное, технологическое и военное (оружие).

В непосредственном подчинении УАЭ до самого последнего времени были следующие научно-исследовательские центры, лаборатории, заводы и АЭС:

Научно-исследовательский центр по атомной энергии в Харуэлле; Калемская лаборатория, Амершемская радиохимическая лаборатория; Уонтиджская научно-исследовательская лаборатория; Научно-исследовательский центр по атомной энергии в Уинфрите; Научно-исследовательский центр в Даунрее; Лаборатория реакторной технологии и материалов в Рисли; Лаборатория в Уиндскейле; Лаборатория твэлов в Спрингфилдсе; Лаборатория реакторных материалов в Калгете; Кайпенхерстский газодиффузионный завод; Спрингфилдский завод; двухцелевые реакторы в Колдер-Холле и Чапел-Кроссе; Уиндскейлский завод, а также Центр по атомному оружию и соответствующие для этого лаборатории.

Научно-исследовательский центр по атомной энергии в Харуэлле является крупнейшим центром и как бы штабом исследовательской группы УАЭ. В этом центре работает 5500 человек, из которых шестая часть — ученые и инженеры.

Здесь имеются исследовательские реакторы типа *MTR* для испытания новых видов топлива и твэлов, а также установки для изучения материалов после их облучения в реакторах.

Большой отдел производства изотопов занимается получением различных изотопов, в том числе на реакторах «DIDO» и «PLUTO». Эти изотопы поставляют для нужд промышленности и здравоохранения.

В последнее время были проведены большие работы по усовершенствованию имеющихся ускорителей. Центр располагает циклотроном с переменной энергией (до 53 Мэв) для исследований радиационных эффектов при облучении материалов. Усовершенствованный ускоритель Кокрофта-Уолтона служит для изучения свойств твердых тел. Тандемный ускоритель Ван де Граафа с энергией 5 Мэв используется как источник сильного потока атомов гелия. Кроме того, имеется изохронный циклотрон на энергию протонов 50 Мэв для металлургических исследований, имитации повреждений, производимых быстрыми нейтронами в реакторных материалах, получения изотопов с переменной энергией и т. д.

В Харуэлле ведутся исследовательские и конструкторские работы, в частности, по оценке эффектов радиационного повреждения в защитных оболочках реакторов. Здесь проводятся и многие другие работы, не связанные непосредственно с атомной энергетикой, например, по стерилизации и консервированию пищевых продуктов с помощью гамма-облучения, по нейтронному активационному анализу на реакторах центра. Исследования по внедрению ионов в поверхностный слой материала с помощью ускорителей частиц имеют целью изменение механических и электрических свойств материалов.

Вторым крупным научным центром в Великобритании является Научно-исследовательский центр по атомной энергии в Уинфрите. Главное направление работ в Уинфрите — разработка реакторных систем и оценка различных характеристик реакторов. Ведутся исследования по физике реакторов, теплопередаче, гидродинамике, управлению реакторами, приборам ядерной техники, оценке характеристик активной зоны реактора, включая реакторную кинетику, эксплуатацию реакторов и использование реакторов для экспериментальных разработок. В центре изучаются новые реакторные концепции и области применения ядерных реакторов.

С 1968 г. в Уинфрите работает реактор SGHWR (Steam Generating Heavy Water Reactor) мощностью 100 Мвт (эл.). Реактор работает весьма удовлетворитель-

но. Так, в январе 1971 г. этот прототип промышленной АЭС за 634 часа выработал около 60 Гвт.ч электроэнергии (в декабре 1970 г. за 585 ч АЭС выработала 58 Гвт.ч электроэнергии). Строительство реактора SGHWR началось в мае 1963 г., критичности реактор достиг в сентябре 1967 г., а вывод его на полную мощность был осуществлен в январе 1968 г. (табл. 10).

Обсуждение с английскими специалистами при посещении Уинфрита в 1970 г. показали, что реактор с тяжеловодным замедлителем и теплоносителем — обычной водой — значительно лучше, чем реактор с природным ураном, охлаждаемый углекислым газом.

Проектирование промышленного прототипа реактора взяли на себя промышленные фирмы. Эти реакторы проектируются на мощность 450 Мвт (эл.) и 600 Мвт. Однако решение об их строительстве еще не принято.

На Крайнем Севере Шотландии в Даунрее организован научно-исследовательский центр для разработки конструкций и прототипов реакторов на быстрых нейтронах.

Вот уже в течение нескольких лет в центре работает

Таблица 10

**Характеристика АЭС SGHWR в Уинфрите**

Наименование	Размерность	Показатели
Мощность тепловая	Мвт	294
Мощность электрическая	Мвт	100
Ядерное топливо	вид	UO <sub>2</sub>
Обогащение топлива	%/т	2,28
Загрузка топлива	т	21,35
Поток медленных нейтронов	нейтрон	9 · 10 <sup>13</sup>
Замедлитель	см <sup>2</sup> .сек	
Теплоноситель	вид	D <sub>2</sub> O
Давление теплоносителя	кг/см <sup>2</sup>	H <sub>2</sub> O/пар 69/64
Температура на входе в реактор	°C	280
Температура теплоносителя на выходе из реактора	°C	283/504
Пар — давление	кг/см <sup>2</sup>	61,5
Пар — температура	°C	298
Выгорание	Мвт. сут/т	21000
Стоимость 1 квт. установленной мощности	доллары	255
Стоимость 1 квт-ч	центы	0,72

экспериментальный реактор на быстрых нейтронах *DFR* тепловой мощностью 60 *Мвт* (14 *Мвт.* эл.). Реактор служит для изучения различных характеристик быстрых реакторов и для экспериментов по облучению твэлов и материалов быстрого реактора.

На реакторе *DFR* проводилось изучение последствий, вызванных повреждением топливного стержня из целой серии стержней активной зоны реактора. Результаты исследования показали, что подобные повреждения не оказывают большого влияния на безопасность эксплуатации реактора. На реакторе ведутся работы по облучению твэлов с целью улучшения топливных характеристик реактора, в том числе глубины выгорания, удешевления процесса изготовления твэлов и т. д.

Реактор *DFR* выработал более 330 млн. *квт-ч* электроэнергии (на апрель 1971 г.), большая часть которой поступила в энергосеть Северной Шотландии.

Следующим большим шагом явилась разработка прототипа быстрого реактора *PFR* мощностью 250 *Мвт* (эл.) (тепловая мощность 600 *Мвт*), строящегося в Даунрее. В 1965 г. мы внимательно ознакомились с реактором *DFR*, на котором к тому времени был накоплен 1,5—2-годовой эксплуатационный опыт. Уже тогда было видно, что английские специалисты хорошо справились с трудной задачей создания сложного реактора на быстрых нейтронах. Натрий-калиевый теплоноситель был освоен эксплуатационниками в полной мере.

В то время (1965 г.) шла подготовка к сооружению реактора на быстрых нейтронах большой мощности. Строительство началось в 1966 г. и по планам предполагалось, что реактор будет пущен в 1971 г. Однако во время нашего второго визита в Даунрей в 1970 г., реактор был еще в периоде строительства и монтажа основных агрегатов и узлов корпуса, насосов и т. д.

По наметкам, которые нам сообщили тогда, предполагалось, что реактор достигнет критичности в 1972 г. Однако дата была перенесена на первую половину 1973 г. Отсрочка выполнения графика строительства реактора на год была вызвана дефектами обнаруженными в ходе изготовления крышки реактора и задержками в поставке некоторых видов основного оборудования. Как известно, реактор *PFR* имеет интегральную (блочную) конструкцию в противоположность петлевым реак-

торам (типа «Энрико Ферми» (США) или Шевченковской АЭС (СССР)).

Основные преимущества такой конструкции реактора — сравнительная простота, компактность и безопасность циркуляции жидкометаллического теплоносителя. Пуск в действие реактора *PFR* будет большим событием для атомной энергетики, ибо мощность его весьма велика (табл. 11). По последним сообщениям энергетический пуск АЭС с реактором *PFR* перенесен на первую половину 1974 года.

Таблица 11

Характеристика АЭС с реактором *PFR*

Наименование	Размерность	Величины
Мощность тепловая	<i>Мвт</i>	600
Мощность электрическая	<i>Мвт</i>	250
Ядерное топливо	вид	UO <sub>2</sub> и PuO <sub>2</sub>
Обогащение топлива	%	22 и 30
Загрузка	<i>т</i>	0,625—0,70
Теплоноситель	вид	натрий
Температура теплоносителя на входе в реактор	°C	400
Температура теплоносителя на выходе из реактора	°C	560
Пар — давление	<i>кг/см<sup>2</sup></i>	162
Пар — температура	°C	560
Выгорание	<i>Мвт. сут/т</i>	50 000
Стоимость 1 <i>квт</i> установленной мощности	доллары	340

Три крупными научно-исследовательскими центрами (Харуэлл, Уинфрит, Даунрей) не исчерпываются возможности УАЭ, имеющего в своем распоряжении и другие лаборатории.

УАЭ, как и ЦЭУ, непосредственно подчинены атомные электростанции опытно-экспериментального характера, где в период эксплуатации производится отработка всех видов основного реакторного оборудования. Полученный опыт передается промышленности.

Всего в ведении УАЭ находится 5 действующих АЭС и одна строящаяся.

На основе тепловых реакторов типа Колдер-Холл, Чапел-Кросс, Беркли, Брэдуэлл, Данженесс, Сайзуэлл, Хинкли-Пойнт (тип МК-1) создан новый, более современ-

менный тип реактора МК-II с графитовым замедлителем и с газовым теплоносителем ( $\text{CO}_2$ ) *AGR*.

В новом реакторе *AGR* (Advanced Gas cooled Reactor) топливные элементы из двуокиси урана слабообогащенного изотопом-235 и принудительное газовое охлаждение. Твэлы заключены в специальные оболочки из нержавеющей стали, а не из магниевого сплава (магнокса), от которого и получили название реакторы этого типа (МК-I).

Именно в связи с тем, что оболочка твэлов изготовлена из нержавеющей стали, а не из магноксового сплава сильно возросли энергетические возможности *AGR*. Так, если температура газа на выходе из реакторов типа МК-I порядка  $410^\circ\text{C}$ , то температура газа в реакторе *AGR* около  $550\text{—}580^\circ\text{C}$ , т. е. на 40% выше.

Реактор *AGR* в Уиндскейле интенсивно используется для проведения экспериментов по облучению топлива, графита и других материалов. Ведутся работы по улучшению механических, физических и других свойств топлива для реакторов типа МК-II, направленные на увеличение срока службы топлива.

Строительство АЭС с реакторами *AGR* (типа МК-II) ведется ускоренными темпами. Уже изготовлены реакторы этого типа для АЭС «Дандженесс-Б» и «Хинкли-Пойнт-Б», а также комплекты тепловыделяющих элементов.

В области атомной энергетики УАЭ ведет работы по следующим направлениям:

1. Эксплуатация существующих типов реакторов первого поколения (МК-I).
2. Совершенствование реакторов типа МК-I и переход на реакторы типа *AGR* — МК-II.
3. Переход на более совершенные тепловые реакторы типа *AGR* и *HTR* (высокотемпературный реактор с газовым охлаждением — гелием).
4. Создание и эксплуатация реакторов-размножителей на быстрых нейтронах типа DFR и PFR (прототипом промышленного реактора служит PFR).

Курс, взятый ранее руководящими научными кругами, Управлением атомной энергии (УАЭ) Великобритании, на создание и внедрение в английскую промышленность атомных электростанций с газоохлаждаемыми реакторами был не случаен. Этим хотели решить сразу две

задачи: получить в достаточных количествах плутоний (для военных целей) и одновременно электрическую энергию.

Реакторы с газовым охлаждением и графитовым замедлителем сравнительно просты, с недорогим топливным циклом, используют природный уран без дополнительного обогащения. Скорость производства плутония в них достаточно высока.

Переход на более совершенные типы реакторов для АЭС — это естественный и в то же время обычный жизненный процесс. На внешнем рынке появились более совершенные конструкции, с которыми газоохлаждаемым реакторам конкурировать труднее. Поэтому и появился на сцене тяжеловодный реактор типа *SGHWR* с замедлителем тяжелой водой и теплоносителем — обычной водой. Тяжелая вода — один из лучших видов замедлителей быстрых нейтронов, при котором бесполезные потери минимальны. По физическим данным реакторы с тяжеловодным замедлителем — наилучшие.

В тяжеловодных реакторах можно использовать не только природный но и слабообогащенный уран, а также торий, что позволяет наиболее удачно решить проблемы топливных уран-ториевых ресурсов. Однако высокая стоимость тяжелой воды, а также необходимость большого количества ее для заливки в реактор, резко ограничивают применение таких типов реакторов. Во всяком случае в мировой практике широкого использования тяжеловодные реакторы, например водо-водяного типа, не получили. Только в Канаде тяжеловодные реакторы заняли достойное место. Но здесь были особые причины.

В Великобритании еще не приняли достаточно четкой программы по развитию атомной энергетики на основе реакторов *SGHWR* (тяжеловодных) и *AGR* (газоохлаждаемых). Дополнительные препятствия для этого выявились после анализа результатов длительной эксплуатации газоохлаждаемых реакторов типа МК-I. Было установлено, что в среде горячего углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) узлы реакторов, состоящие из мягкой стали, подвергаются коррозии. Коррозионные явления оказались настолько сильными, что способны привести к разрушению стали. Коррозия стальных компонентов внутри реакторов под воздействием горячей двуокиси углерода, как показали опытные данные, превышает расчетную.

После проведения необходимых ремонтно-восстановительных работ и соответствующих исследований УАЗ Великобритании было вынуждено дать указания снизить температуру выходящего газа из реакторов до 360°C. В связи с этим снизилась электрическая мощность АЭС.

Официальное открытие восьмой и последней из числа пущенных магноксовых (тип МК-1) АЭС было намечено на 12 мая 1972 г. Однако в заявлении, сделанном главным подрядчиком консорциумом *BNDC*, указывалось, что АЭС в Уилфе не будет работать на полной мощности и при установленных проектных температурах. Причина — более сильная коррозия узлов реакторов в среде горячей двуокиси углерода, чем это предполагалось ранее. Эксплуатацию АЭС было решено начать при температуре на 50°C ниже проектной. В этих условиях мощность АЭС составит 900 Мвт (эл.), что ниже проектной на 20%. Выявленные сильные коррозионные свойства горячей двуокиси углерода на мягкую сталь не могли не привести к недоверию к газоохлаждаемым реакторам.

В конце 1970 г. правительством Великобритании была создана специальная комиссия под руководством представителя правительства, в которую вошли руководители центрального электроэнергетического управления и управления по атомной энергетике в Англии. Предложения Комиссии правительству сводятся к следующему:

усилить консолидацию современной атомной промышленности: ведущая роль в реакторостроении будет принадлежать УАЭ, а в разработке и изготовлении ядерного топлива — фирме *BNFL*; английская атомная промышленность должна иметь достаточную техническую поддержку, чтобы участвовать в международных, особенно европейских проектах по атомной промышленности;

создать управление по ядерной энергетике, включающее различные организации, способные оказать правительству помощь в разработке программы реакторостроения.

Таким образом, английские руководящие круги озабочены существующим ныне положением в области атомной энергетике в Великобритании. Принимаются меры, которые смогут привести английскую атомную энергетику вновь к ведущему положению в мире, в том числе на внешнем рынке по сооружению атомных электростанций.

## Атомная энергетика ФРГ

ФРГ позднее всех ведущих капиталистических стран Европы приступила к сооружению атомных электростанций.

Началом работ в ФРГ в области атомной энергии можно считать 1956 г. С этого времени развертывание научных исследований, организация институтов и лабораторий велась при поддержке государства. С этого же времени или несколько раньше началась деятельность различных специализированных промышленных фирм ФРГ. Одним из крупнейших центров научной работы в области атомной энергии считается Центр ядерных исследований в Карлсруэ. Он состоит из двенадцати институтов: нейтронной физики и реакторной техники, реакторов, прикладной ядерной физики, экспериментальной ядерной физики, ядерной технологии, радиохимии, химии регенерации, реакторных компонентов, радиобиологии, твердого тела, радиационной химии, технической информации.

В Центре ядерных исследований в Карлсруэ имеются:

- подкритический импульсный реактор-источник нейтронов;

- корпусной тяжеловодный реактор с топливом на природном уране (44 Мвт);

- исследовательский реактор на тепловых нейтронах (реактор реконструирован в двухзональный реактор на быстрых и тепловых нейтронах);

- плутониевый реактор на быстрых нейтронах с изменяющейся конфигурацией активной зоны;

экспериментальный реактор с натриевым теплоносителем;

многоцелевой реактор электрической мощностью 51 Мвт;

учебный реактор;

кипящий реактор с ядерным перегревом пара;

циклотрон (50 Мэв);

экспериментальная установка по переработке облученного топлива производительностью 40 т в год.

Второй крупный центр ядерных исследований находится в Юлихе. Он создан в 1957 г. и представляет собой (как и центр в Карлсруэ) государственную организацию, финансируемую правительством ФРГ. Хозяйственную деятельность центра ведет фирма «Кернфоршунг-санлаге».

В Юлихе ведутся исследовательские работы по созданию высокотемпературных газо-графитовых реакторов и твэлов. В нем проектируются реакторы с термодинамическим преобразователем в активной зоне; МГД-генераторы. Другие исследования охватывают многие области: испытание материалов; физику твердого тела, экономические, медико-биологические и космические проблемы.

В 1969 г. в Юлихе был пущен в эксплуатацию первый в ФРГ газо-графитовый реактор с уран-ториевым циклом мощностью 15 Мвт.

В Центре ядерных исследований имеются: погружной реактор мощностью 5 Мвт; корпусной тяжеловодный реактор мощностью 15 Мвт; погружной реактор мощностью 5 Мвт; высокотемпературный реактор с газовым охлаждением и шаровыми твэлами мощностью 15 Мвт (эл.); изохронный циклотрон с переменной энергией 45—90 Мэв; линейный электронный ускоритель (3 Мэв).

Общество по использованию атомной энергии в судостроении и судоходстве (Обществом владеет правительство) создало Центр ядерных исследований в Гестахте. В его задачу входят: разработка реакторов для судов, в частности, водо-водяного типа и высокотемпературного с газовым охлаждением; исследования по опреснению морских и солоноватых вод; разработка опреснительных установок, использующих тепло для выпарных аппаратов от атомных реакторов; исследование возможностей использования ядерной техники для разведки новых источников сырьевых материалов в морях.

Для проведения этих работ имеются три экспериментальных реактора на 5,15 и 25 Мвт и три критические сборки, не считая другого экспериментального оборудования и аппаратуры.

В 1960 г. в ФРГ был основан Институт физики имени Макса Планка в Гархинге (близ Мюнхена). Недалеко от Мюнхена, в Нойгерберге, создан научно-исследовательский центр радиационных исследований и изучения окружающей среды. Центр проводит исследования в области радиационной защиты, физики твердого тела, радиохимии, захоронения радиоактивных отходов. В 1970 г. в сферу деятельности Центра была включена проблема исследования окружающей среды.

В 1957 г. на основе кафедры ядерной химии Технического университета (Берлин) был образован Институт ядерных исследований имени Гана—Мейтнер. Здесь ведутся исследования в области радиоактивных изотопов, воздействия радиации на различные среды, дозиметрии, контроля за радиоактивностью атмосферы.

В Дармштадте имеется Общество по ядерным исследованиям с помощью ускорителя тяжелых ионов. Под Гамбургом действует Институт электронного синхротрона Desy (Дези). Это крупнейший в Европе электронный синхротрон на энергию 7,5 Гэв.

В Гиссене, при университете имени Юстуса Либиха, образован Центр радиоактивных излучений. В центре имеются научно-исследовательские институты, отделы и группы; институт биофизики, институт ядерной физики, отделы прикладной ядерной физики и радиационной защиты, группы линейного ускорителя, позитронная и вычислительных машин. Центр располагает линейным ускорителем на 65 Мэв, кобальтовым излучателем на 20 000 кюри, генератором нейтронов, спаренным ионным ускорителем, спектрометром и другим оборудованием.

Кроме этих научных центров имеются еще шесть научно-исследовательских институтов Общества имени Макса Планка, которые также ведут в своих лабораториях ядерные исследования.

Обществу Макса Планка принадлежат следующие научно-исследовательские институты, работающие в области атомной энергии: Институт ядерной физики (Гейдельберг), Институт физики и астрофизики (Мюнхен), Институт биофизики (Франкфурт), Химический институт

(Майнц), Институт исследования металлов (Штутгарт), Институт исследования угля (Мюльгейм).

Ведущие западногерманские фирмы атомной промышленности также создали собственные крупные центры ядерных исследований. Так, фирма «Сименс» имеет свой Научно-исследовательский центр в Эрланген и Лабораторию ядерной физики в Гархинге. Фирма «АЭГ» имеет близ Франкфурта Реакторный центр с крупным ядерно-энергетическим лабораторным комплексом (четыре лаборатории — физическая, теплотехническая, твэлов и металлургии и химии). Фирма «Браун Бовери» построила в Гейдельберге Центральную научно-исследовательскую лабораторию, занимающуюся проблемами прямого превращения атомной энергии в электрическую. Фирма «Уранэрцбергбау» имеет хорошо оборудованную лабораторию в Бонне, где проводятся исследования в области добычи и обработки урановых руд.

За короткий срок, начиная с 1956 г., в ФРГ создана мощная сеть научно-исследовательских институтов и лабораторий. Широкий фронт работ по атомной энергии, развернутый в течение 15—16 лет в ФРГ, показывает, что правительство принимает все меры, чтобы наверстать упущенное и догнать, а может быть, и перегнать в этой области такие ведущие страны Европы, как Англия и Франция.

Правительство ФРГ возложило на Министерство образования и науки вопросы организации работ в области атомной энергии.

Министерство определяет общую политику в области атомной энергии, утверждает программы развития ядерной науки и техники; координирует и финансирует работы, ведущиеся в исследовательских учреждениях, атомных центрах, высших учебных заведениях и фирмах.

При Министерстве образования и науки функционирует Немецкая атомная комиссия с правом совещательного органа.

Центры ядерных исследований, Министерство образования и науки не занимаются сооружением атомных электростанций и связанными с ним крупными объектами, не расходуют на это государственные средства.

Сооружение АЭС, как правило, осуществляют частные западногерманские фирмы при существенной поддержке государственных органов и в некоторых случа-

ях иностранных фирм, привлекаемых к строительству АЭС.

В ФРГ находятся в эксплуатации десять АЭС. В их числе четыре экспериментальных и шесть опытно-промышленных (табл. 12).

Таблица 12

Действующие экспериментальные и опытно-промышленные (демонстрационные) АЭС в ФРГ

АЭС	Тип реактора	Мощность АЭС, Мвт	Ввод в эксплуатацию, год
VAK — Каль на Майне	Кипящий с водой под давлением	16	1962
MZFR — Леопольдсхафен	Тяжеловодный	57	1966
AVR — Юлих	Высокотемпературный с шаровыми твэлами	15	1967
KNK — Леопольдсхафен	Натриевый теплоноситель	20	1971
KRB — Гундремминген	Кипящий с водой под давлением	250	1966
KWL — Линген	Кипящий с нефтяным перегревом пара	255 (180+75)	1968
KWO — Обригейм	С водой под давлением	340	1969
KKS — Штад на Эльбе	С водой под давлением	660	1972
KWW — Вюргассен	Кипящий	670	1972
KKN — Нидеррайхбах	Тяжеловодный с газовым охлаждением	100	1972

До 1980 г. выданы заказы на изготовление оборудования для более 15 АЭС. В связи с этим созданы специальные реакторостроительные фирмы. Часть из них организована в виде специализированных фирм путем отпочкования от крупнейших концернов ФРГ.

Фирма «Сименс» (г. Эрланген) специализируется на изготовлении реакторов с водой под давлением и тяжеловодных. Фирма АЭГ — Телефункен (г. Франкфурт на Майне) специализирована на строительстве кипящих

реакторов. Фирма «Браун—Бовери» вместе с «Крупн-реакторбау» строит высокотемпературные реакторы с газовым теплоносителем. «Интератом» (г. Бенсберг) сооружает реакторы на тепловых и на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, а также судовые реакторы с водой под давлением. В последнее время она ведет работы по сооружению реакторов с термоионным преобразователем энергии. В качестве компаньонов сюда входят фирмы «Демаг» — 20%, «Дойче Бабкок унд Уилкокс» — 20 и «Сименс» — 60%.

Фирма «Крафтверкунион» (г. Мюльгейм) поставляет оборудование и принимает участие в сооружении реакторов под давлением, реакторов кипящего типа, а также тяжеловодных реакторов.

Более двадцати различных фирм ФРГ занимаются разработками и поставками уран-плутониевых твэлов, переработкой облученного топлива, обеспечением топливного цикла для АЭС, транспортировкой радиоактивных веществ, производством специальных реакторных материалов (в том числе циркониевых сплавов, керамики и т. д.).

Реакторостроительным фирмам ФРГ удалось создать все звенья атомной промышленности не только за счет своего огромного промышленного потенциала, но также путем покупки лицензий и патентов в первую очередь во Франции, Великобритании, а также в США. Таким образом, не были повторены ошибки, неизбежные при создании нового дела и по ходу работы даже улучшены отдельные конструкции.

К 1972 г. доля АЭС в производстве электроэнергии в ФРГ составляет 5%. По данным печати электрическая мощность западногерманских АЭС должна составить к 1975 г. 5500 Мвт, а к 1980 г. — около 20 000 Мвт.

В ближайшие годы (до 1977) намечено строительство реакторов нескольких типов, указанных в табл. 13 (многие из них уже в стадии строительства).

Из общего количества электрических мощностей 11 100 Мвт, намеченных к вводу до 1977 г. за счет электростанций на реакторах водо-водяного типа под давлением и кипящего типа под давлением, приходится 10 500 Мвт, или 94%. Ясно определился выбор реакторов на тепловых нейтронах.

Наибольший процент приходится на реакторы водо-

## Строящиеся и намеченные к строительству АЭС в ФРГ до 1977 г.

Название АЭС и местонахождение	Мощность		Тип реактора	Начало строи- тельства, год	Пуск в эксплуата- цию, год
	тепловая, Мвт	электриче- ская, Мвт			
<i>RW-1</i> Библис на Рейне	3442	1200	С водой под давлением	1970	1974
<i>KKV</i> Брунсбюттель на Эльбе	2292	805	Кипящий	1970	1974
<i>KKP-1</i> Филиппсбург на Рейне	2572	900	Кипящий	1970	1974
<i>THTR-300</i> Шмехаузен	750	300	Высокотемпер. с газовым охлаждением и с шаро- выми твэлами	1971	1976
<i>GKN</i> Неккарвестхейм	2215	775	С водой под давлением	1971	1975
<i>KKJ</i> Оху на Изаре	2300	900	Кипящий	1971—1972	1976—1977
<i>KKP-2</i> Филиппсбург на Рейне	2575	900	Кипящий	1972	1977
<i>SNR-300</i> Калкар	730	300	Реактор-размножитель на быстрых нейтронах натриевым теплоноси- телем	1972	1977
<i>BASF</i> Людвигсхафен	2×2000	2×660	С водой под давлением	1972	1-й блок 1976, 2-й блок 1977
Библис-2 на Рейне					
Кобленц-Норд	3400	1200	С водой под давлением	1972	1977
Рейнграбен	3500	1200	С водой под давлением	1972	1977
Унтервезер на реке Ве- зер	3740	1300	С водой под давлением	1971—1972	1975—1976

водяные под давлением (63%), затем следуют кипящие (31%). Очевидное предпочтение отдается водо-водяным реакторам.

В ФРГ ведутся работы по строительству промышленного прототипа реактора-размножителя на быстрых нейтронах. Реактор-размножитель *SNR* — 300 (см. табл. 13) намечен к вводу в эксплуатацию в 1977 г. (*SNR* — с натриевым теплоносителем).

В ФРГ считается, что коммерческое использование быстрых реакторов возможно не ранее 1985—1990 гг. Разработка реакторов на быстрых нейтронах удешевит стоимость электроэнергии и будет способствовать независимости ФРГ в области ядерного топлива.

По соглашению, подписанному фирмой «Рейнвестфалише электрицитетсверке» и французской фирмой «Электрисите де Франс» намечается строительство двух реакторов-размножителей на быстрых нейтронах. Мощность каждого реактора 1000 *Мвт*. Первый реактор-размножитель такой мощности предполагается построить в 1975—1976 гг.; второй будет построен в ФРГ с 1977—1978 гг. Строительство западногерманского реактора предполагается начать в 1977 г., после завершения строительства реактора-размножителя на быстрых нейтронах *SNR* в Калкаре (300 *Мвт*).

В сооружении АЭС *SNR-300* принимают участие фирмы: «Интератом» (ФРГ), «Ниратом» (Нидерланды), «Белгонюклеар» (Бельгия) и «Люксатом» (Люксембург).

Для обеспечения программы ввода атомно-энергетических мощностей до 20 000 *Мвт* к 1980 г. ФРГ вынуждена закупать около 50% необходимого ей уранового топлива. Геологоразведочные работы по изысканию урановых месторождений в ФРГ пока не обнаружили достаточно мощные залежи урановой руды. Поэтому основные уранодобывающие фирмы ФРГ принимают участие в разведке урановых месторождений и в разработке месторождений урана за границей. Ассигнования на производство геологоразведочных работ за пределами ФРГ уже выделены, причем они превышают финансирование на те же работы внутри страны.

Западногерманские фирмы «Уранэрцбергбау» и «Урангезельшафт» закупают в Канаде, во Франции и других странах урановую руду, не дожидаясь разверты-

вания работ по добыче отечественных урановых месторождений.

Ядерное топливо, облученное в реакторах АЭС, ФРГ намерена перерабатывать на собственных радиохимических заводах. Однако пока все облученное топливо направляется на переработку в другие страны: США, Великобританию, Бельгию.

В Карлсруэ в конце 1969 г. введена в эксплуатацию первая очередь установки по переработке облученного топлива. Здесь, начиная с 1971 г., перерабатываются твэлы с обогащенным ураном до 3% (уран-235) в оболочках из нержавеющей стали и циркониевых сплавов.

Все твэлы производит западногерманская промышленность. Создана специализированная фирма «Керн-реактортейле». В Ханау работает завод твэлов и близ Ханау, в Вальфганге, фирма «NUKEM» строит новый завод твэлов.

Потребность атомной энергетики в обогащенном уране к 1985 г. определяется в 5500—6500 т в год. В ФРГ предполагают вести строительство газодиффузионных предприятий для обогащения природного урана.

ФРГ также активно поддерживает и участвует в разработке нового метода обогащения урана на ультрацентрифугах. Разработка метода ультрацентрифугирования из-за ее сложности приняла международный характер. В марте 1970 г. было подписано тройственное соглашение между ФРГ, Великобританией и Нидерландами о строительстве двух предприятий опытно-демонстрационного назначения. Одно сооружается в Кейпенхерсте (Великобритания), второе в Алмело (Нидерланды).

В июле 1971 г. в соответствии с соглашением между тремя этими странами создана фирма «CENTES». В ее задачу входят разработка метода ультрацентрифуг и строительство обогатительных установок.

На немецком Атомном форуме (1971 г.) было сообщено, что средний коэффициент использования всех АЭС в ФРГ составил около 79,6%. В 1971 г. не было никаких неполадок или повреждений, которые повлияли бы на безопасность эксплуатации установок. Всего на АЭС было выработано 6373 Гвт.ч электроэнергии, большая часть которой приходится на опытные демонстрационные АЭС.

АЭС в Гундремингене мощностью 250 Мвт (эл.) с кипящим реактором в 1971 г. работала с коэффициентом

использования 90,2%. Всего АЭС выработала 1991 Гвт.ч электроэнергии.

АЭС в Лингене мощностью 225 Мвт (эл.) с кипящим реактором. Всего было выработано 1362 Гвт.ч. Коэффициент использования 65,9%. Такой низкий коэффициент использования объясняется остановками для ремонта турбины и замены твэлов. Из пяти внеплановых остановок две были вызваны возгоранием масла. Во время летней остановки перегреватель был переведен с жидкого топлива на природный газ.

АЭС в Обриггейме мощностью 340 Мвт (эл.) с реактором с водой под давлением выработала 2257 Гвт.ч. Коэффициент использования — 76,9%.

Приведенные данные показывают, что эти типы реакторов (водо-водяные под давлением и кипящие) полностью освоены в ФРГ и эксплуатация их не вызывает трудностей.

В строящихся до 1977 г. АЭС значительная доля приходится на водо-водяные реакторы. Однако это вовсе не означает, что в ФРГ не предполагают вести работы над другими, не менее перспективными энергетическими реакторами на тепловых нейтронах.

В ФРГ насчитывается около 25 построенных, строящихся и запланированных АЭС общей мощностью около 14 Гвт (эл.). В основном эти АЭС оснащены реакторами с обычной водой, которые зарекомендовали себя как надежные и конкурентоспособные.

На первом этапе мощность АЭС достигнет 1500—1600 Мвт, а в дальнейшем — около 2000 Мвт. Вторая программа работ по атомной энергии в ФРГ предусматривает расширение строительства АЭС с тяжеловодными реакторами. Опыт эксплуатации АЭС с реактором MZFR и АЭС в Нидерайбахе, как полагают, обеспечивает возможность создания промышленных АЭС.

В третьей программе работ по атомной энергии особое внимание уделено высокотемпературным реакторам с газовым охлаждением. Работы, проведенные в Центре ядерных исследований в Юлихе совместно с западногерманскими промышленными фирмами, и, в частности, опыт, накопленный в период эксплуатации реактора AVR, создали основу для строительства демонстрационной АЭС мощностью 300 Мвт. Она сооружается неподалеку от Шмехаузена.

Большой интерес в ФРГ вызывают АЭС с реакторами-размножителями на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.

Исследования и конкретные разработки прототипа АЭС мощностью 300 Мвт (SNR-300) выполняются промышленным консорциумом, в который вошли фирмы «Интератом» (ФРГ), «Белгонюклеэр» (Бельгия) и «Нератом» (Нидерланды). Ведущую роль будет играть фирма «Интератом», которая занимается реакторами, включая расчеты по физике активной зоны.

Фирма «Белгонюклеэр» уделяет основное внимание разработкам ядерного топлива, а фирма «Нератом» — разработкам промежуточных теплообменников (Na/Na), парогенераторов (Na/H<sub>2</sub>O) и натриевых насосов.

Согласно последним данным электрическая мощность западногерманских АЭС должна составить в 1975 г. 5400 Мвт, а в 1980 г. — 20 Гвт.

В 1971 г. в ФРГ были заключены контракты на строительство следующих АЭС: «Филиппсбург-2» (950 Мвт); «Гемейншафтскернкraftwerk» (700 Мвт); «Кернкraftwerk» (950 Мвт); в нижнем течении реки Везер (1300 Мвт); блока АЭС «Библис-Б» (1300 Мвт).

Строительство АЭС в ФРГ ускорилося в связи с ростом цен на уголь и нефть. С 1960 по 1970 г. эти цены повысились соответственно на 25 и 9%, тогда как цена на концентрат урана до 1969 г. оставалась относительно стабильной или увеличилась весьма незначительно.

Предполагается, что к концу 70-х годов цена на U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> в Западной Европе достигнет 36,2 доллара за килограмм, незначительно повышаясь каждый год. Рост цен на обогащенный уран не окажет существенного влияния на стоимость производства электроэнергии АЭС.

Строительство АЭС в ФРГ связано с решением таких важных проблем, как выбор площадки и обеспечение охлаждающей водой.

Общее состояние промышленности ФРГ и, в частности, научно-технической и конструкторской базы по атомной энергетике позволило западногерманским фирмам предложить услуги по сооружению атомных электростанций в других странах.

В 1968 г. фирмы ФРГ приступили к сооружению АЭС в Аргентине и в некоторых странах Латинской Америки. Национальная комиссия атомной энергии Аргентины на-

мечает с помощью фирм ФРГ окончить строительство АЭС в Атуче в 1973 г. Тепловая мощность этой АЭС с тяжеловодным реактором (PHWR) 1100 Мвт и электрическая — 340 Мвт. Ядерное топливо в активной зоне реактора в виде двуокиси урана ( $UO_2$ ). Число петель в первом контуре реактора — две. Температура охлаждающей речной воды 17°C.

С 1969 г. в Нидерландах фирмы ФРГ ведут строительство АЭС — Борселле. Станция имеет реактор водяного типа под давлением (PWR) тепловой мощностью 1365 Мвт и электрической мощностью 477 Мвт. Ядерное горючее — двуокись урана ( $UO_2$ ). Охлаждающая реактор морская вода имеет среднюю температуру — 12°C.

Австрийское общество ядерных электростанций (GKKW) выдало заказ западногерманским фирмам на сооружение атомной электростанции в 1976 г. Сооружение этой АЭС с реактором водо-водяного кипящего типа (BWR) ведется полным ходом. Ядерное горючее — двуокись урана. Тепловая мощность реактора этой АЭС — 2100 Мвт, электрическая — 723 Мвт. Число петель первого контура реактора — 6. Охлаждающая вода берется из реки с расчетной температурой 8°C.

Это три примера строительства силами промышленных фирм Федеративной Республики Германии АЭС с разными типами реакторов (тяжеловодный, водяной под давлением, кипящего типа) в нескольких странах. Они свидетельствуют о стремлении промышленных кругов ФРГ занять в этой отрасли энергетической промышленности прочное, а может быть и ведущее место среди других западноевропейских и американских государств. Имеется в виду, в частности, Канада, которая, как известно, специализируется на реакторах тяжеловодного типа.

Будущее покажет, насколько сильны будут позиции промышленных фирм и консорциумов Федеративной Республики Германии в конкурентной борьбе за внешние рынки атомной энергетики.

## Заключение

Атомная энергетика заняла прочное место в сфере деятельности человека. В наибольших масштабах она входит в жизнь промышленных стран. Это видно на примерах таких ведущих капиталистических государств, как Соединенные Штаты Америки, Великобритания, Федеративная Республика Германия и др.

В 1972 г. экспорт технологического оборудования для АЭС принес немалую сумму, исчисляемую миллиардами долларов. Что же будет дальше к 1980 г.?

Значение атомной энергетики уже теперь, в 70-е годы, весьма велико. Энергетическое реакторостроение в зарубежных странах (так же, как и в Советском Союзе) развивается в сторону укрупнения энергетических мощностей, снимаемых с одного реактора.

Построенные до 1970 г. реакторы АЭС имеют мощности порядка 50, 175, 265, 330, 490, 545 и 585 *Мвт* (эл.). А введенные в эксплуатацию после 1970 г., и тем более находящиеся в строительстве, имеют значительно большие энергетические мощности: 625, 770, 800, 940, 1065, 1100, 1140, 1154 и 1176 *Мвт*. Естественно, что габариты и вес реакторов и всего реакторного оборудования также неуклонно возрастают.

Большая атомная энергетика настоятельно требует в ближайшие годы нового качественного подхода к решению крупных и сложных задач атомного энергостроения.

Атомная энергетика в таких странах, как США, Великобритания, Франция, Федеративная Республика Германии, Япония и др., имеет все перспективы для своего ро-

ста как средства получения электрической энергии в промышленных масштабах. Нет сомнения, что число стран, использующих атомную энергию, будет непрерывно увеличиваться. Вот почему оборудование для атомной энергетики стало предметом экспорта.

За период с 1966 по 1971 г. США продали в другие страны оборудования для атомных электростанций на сумму 2 млрд. долларов. По предположениям американских экономистов, эта статья экспорта будет расти и к 1980 г. составит 3—3,5 млрд. долларов ежегодно.

Если к этому прибавить производственные возможности других стран по изготовлению и продаже на экспорт атомно-энергетического оборудования, то цифры мирового экспорта окажутся весьма внушительными.

Атомная энергетика в капиталистических странах стала статьей большого бизнеса и совсем не даром ее опекают и пестуют крупнейшие фирмы и концерны американской и западноевропейской промышленности и финансового капитала.

Роль и значение атомной энергетики как нового источника получения электрической энергии еще более возрастают, учитывая разразившийся энергетический кризис в капиталистическом мире.

Из многочисленных сообщений периодической печати и многих публикаций зарубежных стран хорошо видно, как этот, казалось бы, для многих неожиданно нагрянувший энергетический кризис поставил в очень тяжелое положение большинство западноевропейских стран и такую мощную в промышленном отношении страну, как Соединенные Штаты Америки. События, происшедшие в зиму 1973/74 г., обнажили с полной силой всю неподготовленность и неожиданность наступления энергетического кризиса для этих стран.

Поднявшаяся с особой силой волна трудностей осенью и зимой 1973 г. со снабжением сырой нефтью в странах Западной Европы (США и Японии особенно резко подчеркнула сложное положение этих стран с обеспечением одного из основных видов энергетического топлива — нефтью. Энергетический кризис, охвативший эти страны в 1973 г., и особенно США и Европу, привел к невиданным доселе и далеко необычным мероприятиям. Правительства стран Европы, таких, как Великобритания, ФРГ, Дания, Голландия, Бельгия и ряд других,

были вынуждены применить строгие ограничения в расходовании нефтяных видов топлива. Была введена строгая квота расхода и продажи бензина для автомашин, запрещены поездки за город в выходные и праздничные дни на автомобилях, ограничена скорость передвижения автомашин, снижено на несколько градусов отопление домов и учреждений и т. д.

Такие же меры ограничений, преследующих цель сокращения нефти и ее продуктов, были предложены в США их президентом Р. Никсоном.

Следует отметить, что в США приближение энергетического кризиса, затруднений в обеспечении электроэнергией промышленных и бытовых потребностей населения экономисты и руководящие деятели США, включая представителей Белого Дома, ощущали уже в 1969—1970 гг.

Недаром на международной конференции в ноябре 1972 г., организованной Американским ядерным обществом и Американским атомным промышленным форумом, министр торговли Петерсон выразил большую озабоченность положением дел в США и в западном мире с ресурсами разных видов энергии. Он тогда прямо сказал: «Мы можем с полной ответственностью заявить, что наше преимущество в энергии исчезает. В отношении отдельных стран оно уже исчезло. Эра дешевых и чистых видов энергии практически закончилась. Расчеты потребностей США и стран Западной Европы в энергии составят к 1980 г. дефицит для США порядка 15 млрд. долларов, а для стран Западной Европы и Японии — около 30—35 млрд. долларов. Это, естественно, может оказать драматическое воздействие на международное, экономическое и политическое положение стран США, Западной Европы и Японии...»

Можно привести в подтверждение вышесказанного выступления многих других деятелей правительства США, включая министра внутренних дел, а также многочисленные выступления и обращения в конгресс президента США Р. Никсона. Однако разразившийся в 1973 г. энергетический кризис в капиталистических странах для многих все же оказался неожиданным, и в том числе и для США, и для стран Западной Европы.

Создавшееся кризисное положение с поставками нефти было следствием войны на Ближнем Востоке. Война

на Ближнем Востоке привела к обострению энергетического кризиса в глобальных масштабах как в связи с отказом арабских стран экспортировать нефть в страны, поддерживающие израильскую агрессию, так и, во-вторых, с решением арабских стран — производителей нефти — резко ограничить добычу сырой нефти. Таким образом, война на Ближнем Востоке привела к обострению мирового энергетического кризиса в капиталистических странах, хотя и не она его вызвала.

Причиной энергетического кризиса, его главной основой является то, что спрос на энергию, его потребление в мире возрастают быстрее, чем условия для добычи энергетических видов топлива. Именно это является определяющим обстоятельством. Резкое обострение энергетического кризиса — явление временное и зависит только от сложившейся ситуации в связи с военными действиями на Ближнем Востоке.

В конце декабря 1973 г. арабские государства отменили свое эмбарго на поставку нефти в отношении Японии и многих стран Западной Европы, а также приняли решение несколько увеличить добычу нефти против предполагавшегося ранее ее дальнейшего сокращения. Очевидно, что окончание войны на Ближнем Востоке вместе с мирными условиями, приемлемыми для воюющих сторон, приведет к окончанию эмбарго и к смягчению отсюда последствий так называемого энергетического кризиса 1973—1974 гг. Однако основные причины, приведшие к трудностям в обеспечении растущего потребления электроэнергии в мире, очевидно, остаются. Поэтому привлечение к производству электроэнергии новых видов источников энергии, каким является атомная энергетика, становится одним из решающих факторов.

Решение арабских стран и Ирана в конце 1973 г. поднять вдвое отпускные цены на экспортируемую сырую нефть делают еще более привлекательным использование атомной энергетике, как бы повышая ее конкурентоспособность.

Известно, что наиболее крупным источником энергетического сырья является уголь. Если его потребление оставалось бы на нынешнем уровне, то его хватило бы по меньшей мере на 1000 лет. Но если будут полностью удовлетворяться все возрастающие потребности в элект-

троэнергии, то мировых запасов угля может хватить на 150—200 лет или немногим более.

Еще сложнее обстоит дело с расходом нефти и газа, запасы которых неизмеримо меньше, чем каменного угля. При этом следует иметь в виду закон невозобновимости топлива: восполнить природные запасы израсходованных органических видов топлива невозможно. И тут, казалось бы, мы оказываемся в тупике. Однако выход из этого тупика есть. Не останавливаясь на различных, еще далеко не использованных возможностях (солнечная и геотермальная энергия, энергия морских приливов и отливов, сила ветров и т. д.), можно сразу указать на уже хорошо освоенную людьми ядерную энергию.

АЭС — это то, что дает возможность спокойно взирать на будущее, на перспективу дальнейшего развития природных ресурсов в интересах человечества. При этом АЭС, использующие энергию деления ядер урана или плутония, — это как бы первая ступень по пути овладения энергией атома, а ее высшая ступень — управляемая термоядерная реакция, термоядерные электростанции.

Реакция синтеза легких элементов, источником энергии которых является дейтерий — тяжелый изотоп водорода, — имеет неограниченные возможности. Запасы его в морских и океанских водах можно считать неограниченными. Но освоение термоядерных реакторов для промышленного получения электрической энергии — это еще дело будущего.

Читателю следует иметь в виду, что этот очень краткий обзор, ограниченный объемом брошюры, никак не может претендовать на полное и всестороннее освещение всех сложных вопросов атомной энергетики в зарубежных странах.

Однако и этот краткий обзор развития атомной энергетики в ведущих капиталистических странах (США, Великобритания и ФРГ) достаточно хорошо иллюстрирует размах работ в этой новой отрасли энергетического производства.

---

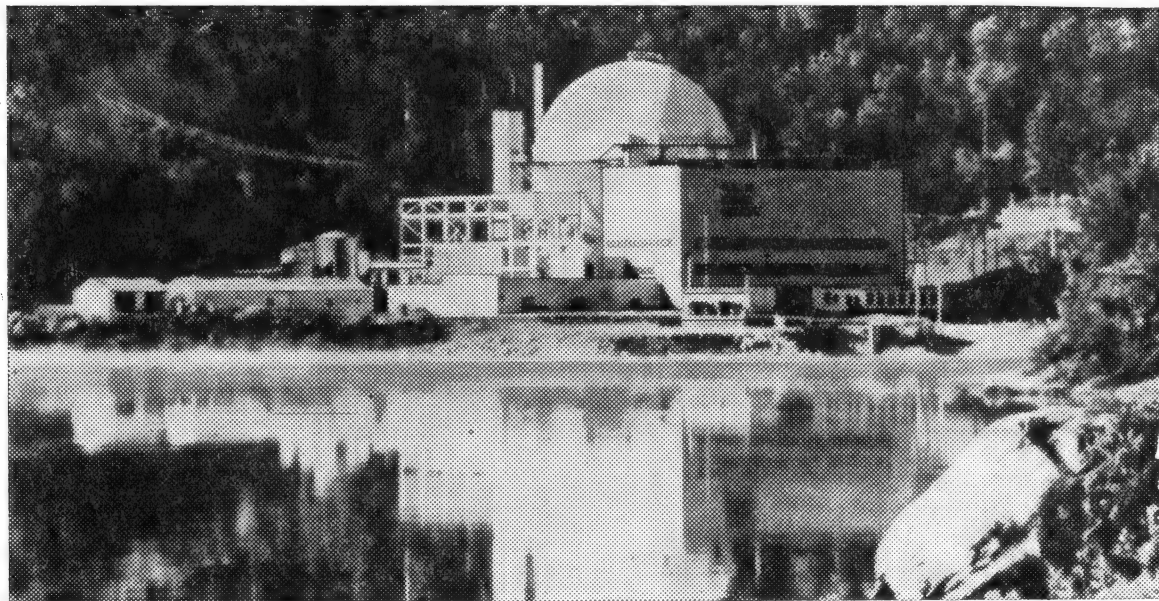


Рис. 1. США. Атомная электростанция «Янки» в штате Массачузетс. Электрическая мощность 175 тыс. кВт.

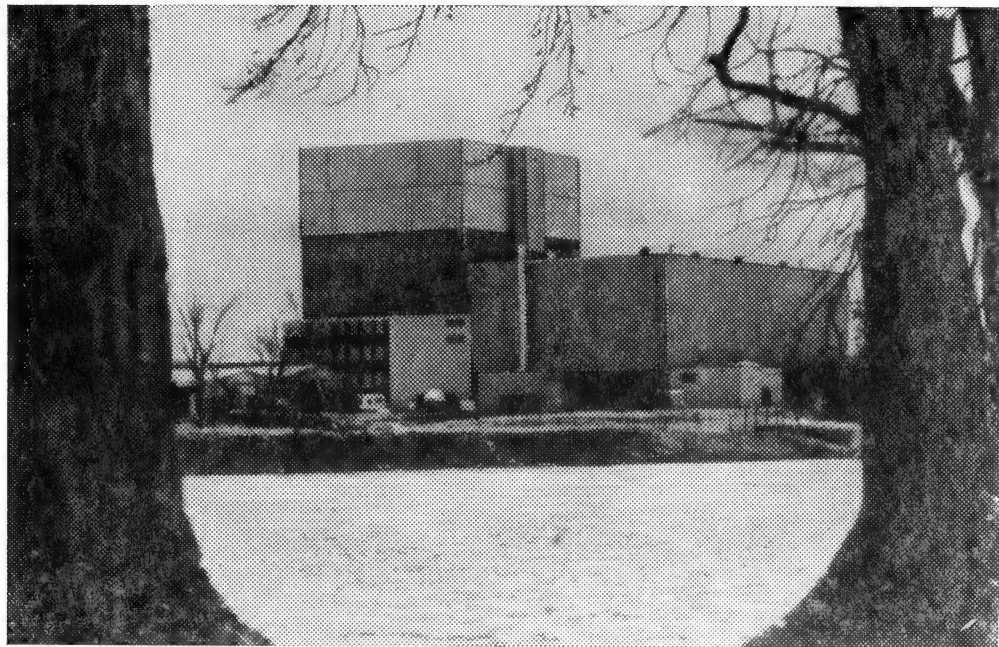


Рис. 2. США. Атомная электростанция «Монтичелло» в штате Миннесота. Электрическая мощность 545 тыс. кВт.

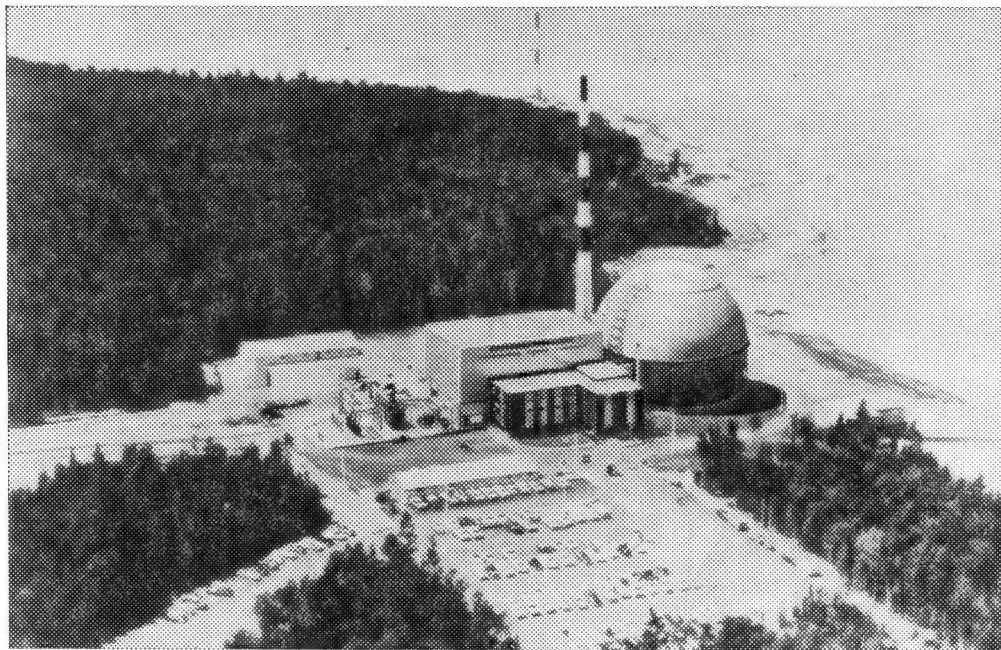


Рис. 3. США. Атомная электростанция Биг Рок Пойнт на берегу озера Мичиган. Электрическая мощность 75 тыс. кВт.

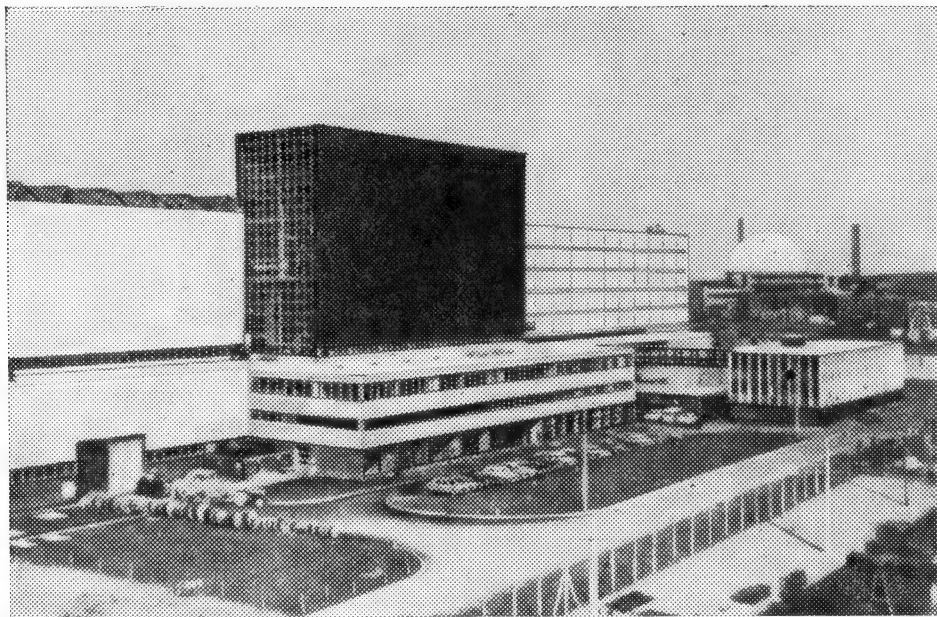


Рис. 4. Великобритания. Даунрей — Шотландия. Атомная электростанция с реактором на быстрых нейтронах *PFR*. Электрическая мощность 250 тыс. квт. Вдали справа видна атомная электростанция *DFR* (шаровой колпак).

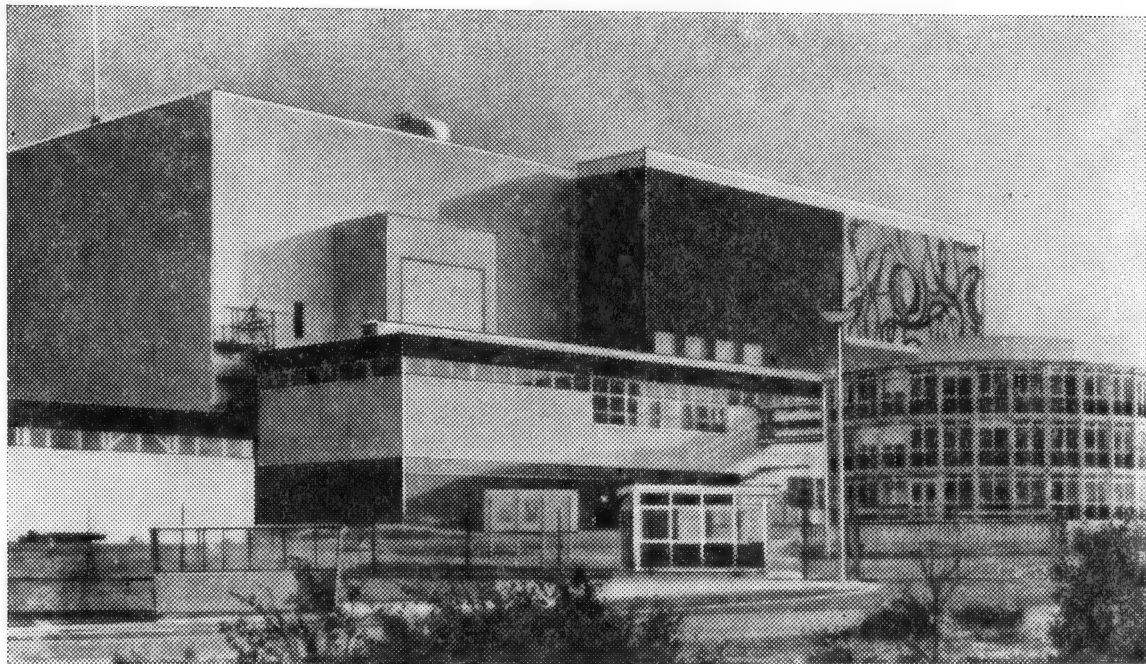


Рис. 5. Великобритания. Атомный центр Уинфрит. Экспериментальная атомная электростанция с реактором *SGHWR* электрической мощностью 100 тыс. кВт.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА США	9
АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ВЕЛИКОБРИТАНИИ	30
АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ФРГ	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53

**Андраник Мелконович Петросьянц**

**МОЩНЫЕ АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ  
ЗА РУБЕЖОМ**

Редактор *И. Б. Файнбойм*

Обложка *Л. П. Ромасенко*

Худож. редактор *В. Н. Конюхов*

Техн. редактор *Т. В. Пичугина*

Корректор *А. А. Пузакова*

А 06713. Индекс заказа 44003. Сдано в набор 30/XI 1973 г.  
Подписано к печати 30/I 1974 г. Формат бумаги  
84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага типографская № 3. Бум. л. 1,0. Печ. л.  
2,0. Усл.-печ. л. 3,36. Уч.-изд. л. 3,12. Тираж 69 620 экз.  
Издательство «Знание». 101835. Москва, Центр, проезд  
Серова, д. 3/4. Заказ 2298. Типография Всесоюзного  
общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.  
Цена 10 коп.



10 коп.

Индекс 70102

---